



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN EL
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO Y SU RELACIÓN CON
LOS FACTORES DE DESARROLLO URBANO

Autora

Saskya Lizeth Cabezas Yanchapaxi

Año
2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN EL
DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO Y SU RELACIÓN CON LOS
FACTORES DE DESARROLLO URBANO

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y
Remediación

Profesor Guía

PhD. Rasa Žalakevičiūtė

Autora

Saskya Lizeth Cabezas Yanchapaxi

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo, Estudio de la variación de temperatura y precipitación en el Distrito Metropolitano de Quito y su relación con los factores de desarrollo urbano, a través de reuniones periódicas con la estudiante Saska Lizeth Cabezas Yanchapaxi, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Rasa Žalakevičiūtė
Doctor of Engineering Science
C.I: 1757076797

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Estudio de la variación de temperatura y precipitación en el Distrito Metropolitano de Quito y su relación con los factores de desarrollo urbano, de Saskya Lizeth Cabezas Yanchapaxi, en el décimo semestre dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajadores de Titulación.”

Santiago Daniel Piedra Burgos
Máster en Hidrociencias e Ingeniería.
C.I: 1715384150

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

Saskya Lizeth Cabezas Yanchapaxi
C.I: 1723209829

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme guiado, iluminado y darme fortaleza para cumplir esta meta tan importante.

A mis padres, quienes con su apoyo constante y su confianza a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación.

A mi hermana, Anita Cabezas por ser mi apoyo, fuerza y ejemplo en todo momento, y a mis amigos y colegas por el apoyo.

A la Dra. Rasa Zalakeviciute, por haber sido una excelente guía, al transmitir su conocimiento con paciencia y apoyo en todo momento para la realización del proyecto.

RESUMEN

Uno de los desafíos más importantes que experimenta el mundo es el crecimiento poblacional, y con esto la urbanización. Todas las actividades antropogénicas realizadas, han incrementado los gases de efecto invernadero, que tienen una influencia directa en las variaciones del clima. En Ecuador y sobre todo en el DMQ se ha experimentado cambios en las variables climáticas, y no se han realizado estudios específicos de este tema. Es por eso, que en esta tesis se analizó los cambios de temperatura y precipitación mensual en diferentes zonas del DMQ, además se determinó si existe o no relación con factores externos (población, vehículos, mancha urbana y contaminantes atmosféricos). También se hizo un análisis comparativo de temperatura a escala nacional. Se analizaron datos de 1962 en adelante, los mismos que fueron tomados del INAMHI, Secretaría de Ambiente, INEC, Secretaría de Movilidad y Transporte, etc. En base a estos datos se realizaron correlaciones para identificar la relación y significancia entre dos variables. Adicionalmente, se desarrolló un modelo ARIMA de predicción de temperatura. Los resultados revelaron que los sitios de estudio tienen una tendencia de crecimiento en el parámetro temperatura, y se encuentran en una zona que es fuertemente impactada por fluctuaciones de El Niño-Oscilación del Sur, con mayor impacto en Quito y Galápagos. Además, el comportamiento de temperatura en todas las zonas de Quito es el mismo que la temperatura global, lo que sugiere que se encuentran influenciados por cambios globales. Por otro lado, las correlaciones con temperatura y precipitación con la mayoría de contaminantes estudiados fueron no significativas, por lo que se propone que son otros los factores que contribuyen a los cambios en temperatura y precipitación. El modelo de predicción ARIMA para tres de las cuatro estaciones del DMQ, muestran un incremento de temperatura hasta el año 2020. Finalmente, este estudio es importante porque puede servir como un estudio piloto y expandirse para diferentes partes de Ecuador. También, sirve como base para una buena planificación urbana y toma de decisiones.

ABSTRACT

One of the most important challenges that the world is facing today, is the growth of the population, and resulting urbanization. All the anthropogenic activities carried out, have increased the greenhouse gases, which has a direct influence in climate variations. In Ecuador and especially in the DMQ changes in climatic variables have been experienced, and no specific studies on this topic have been made. For this reason, in this thesis the monthly changes in temperature and precipitation in different places in DMQ were analyzed, in addition, it was determined whether there is a relationship with external factors (population, vehicles, urban sprawl and atmospheric pollutants). A comparative analysis was also done at national level. Data of 1962 onwards were analyzed, (sources: INAMHI, Secretaría de Ambiente, INEC, Secretaría de Movilidad y Transporte, etc). Correlations were made to study the relations and significance between two variables, additionally, an ARIMA model was developed to study temperature future predictions. The results revealed that the study sites have a trend in temperature increase, and they are strongly impacted by fluctuations in El Niño-Southern Oscillation. This effect is greater in Quito and Galápagos. Moreover, temperature behavior in all the study sites in Quito, are the same as global temperature variations, which strongly suggests that they are influenced by global changes. On the other hand, the correlations of temperature and precipitation with the most of the pollutants studied were not significant, which points to others contributing factors. The ARIMA model for three of the four stations of the DMQ, indicates a temperature increase until the year 2020. To finalize, this study is important because, it will help as a pilot study that could be expanded to different parts of Ecuador. Besides, it serves as a base for a good urban pacification and decision making.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.3. Alcance	4
1.4. Justificación	4
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. El tiempo atmosférico y el clima	7
2.2. Componentes del sistema climático.....	7
2.3. Elementos climáticos.....	9
2.3.1. Temperatura	10
2.3.2. Precipitación	11
2.4. Factores geográficos	12
2.5. Efecto Invernadero.....	13
2.6. Gases de Efecto Invernadero (GEI).....	13
2.7. Cambio climático	14
2.8. El Niño-Oscilación Sur (ENOS).....	15
2.9. Modelos de predicción ARIMA.....	16
3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	17
3.1. Descripción del área de estudio.....	17
3.2. Datos Utilizados	19
3.3. Red de Monitoreo Atmosférico.....	21
3.4. Tendencias y Correlaciones	23
3.5. Validación de datos y Modelo.....	24
4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	26
4.1. Análisis de tendencias.....	27

4.1.1. Temperatura	27
4.1.2. Precipitación	39
4.1.3. Factores Externos.....	44
4.2. Correlaciones	50
4.2.1. Temperatura	50
4.2.2. Precipitación	72
4.3. Validación de datos.....	78
4.3.1. Temperatura	78
4.3.2. Precipitación	80
4.4. Modelamiento.....	83
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
5.1 Conclusiones.....	93
5.2 Recomendaciones	95
REFERENCIAS	97

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Desde la época pre-industrial las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) se han incrementado, siendo en su mayor parte resultado del crecimiento demográfico, económico y la globalización (IPCC, 2013). De los GEI, el gas de concentración más abundante es el dióxido de carbono (CO₂), generado en el consumo de combustibles fósiles: gas, carbón y petróleo, así como por la quema y tala de bosques (Feo, Solano, Beingolea, Aparicio, & Villagra, 2009). Existe una probabilidad alta de que las emisiones naturales y antropogénicas de los GEI, sean la causa principal del incremento de la temperatura registrada desde la segunda mitad del siglo XX (IPCC, 2014a). El cambio climático es un fenómeno que está afectando a los componentes bióticos, abióticos y climáticos, y se lo considera en la actualidad como uno de los problemas más graves y de mayor interés a nivel político y social (Rohrer, Scauwecker, 2016).

En 1988 fue creado el grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), con el fin de realizar evaluaciones exhaustivas sobre los conocimientos técnicos, científicos y socioeconómicos del cambio climático, además de sus causas, sus posibles consecuencias y su mitigación (IPCC, 2014b).

En 1992, varios países se reunieron en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, donde se dio lugar a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la cual entró en vigencia en 1995. La CMNUCC reconoce que el cambio climático es un problema global y se necesitan soluciones a nivel mundial, por lo tanto, este convenio es la primera respuesta política mundial a las dificultades que trae el cambio climático (Rosales, 2013).

Ecuador se suscribió en el “*principio de las responsabilidades comunes pero diferenciadas*” de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kioto de la misma (UNFCCC, 2004).

Cada vez hay mayor certidumbre acerca de la influencia humana en el sistema climático, lo que genera varios impactos que se puede evidenciar en todos los océanos y continentes (Cabré, Marinov & Leung, 2013). Son varios los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos que se han percibido desde 1950. Por lo tanto, el incremento y disminución de la temperatura, aumentó los niveles del mar, precipitaciones intensas en diferentes regiones y otros cambios observados que es muy probable sean provocados por las actividades humanas (IPCC, 2014a). En su último informe (AR5) la IPCC, menciona que el calentamiento es algo indudable. Es 0,85°C el calentamiento promedio global de los valores combinados de temperatura de la superficie terrestre y del océano en el periodo de 1880 al 2012 (Dentener et al., 2013). Por otro lado, muestran que a partir de la época pre-industrial, la temperatura promedio global aumentó por debajo de los 2°C (IPCC, 2014b).

Se ha evidenciado una tendencia significativa en la temperatura y la precipitación en América Central y América del Sur. En estas zonas se ha identificado un calentamiento cerca de 0.7°C a 1°C, desde mediados de la década de 1970 (Dentener et al., 2013). Se ha detectado aumento de temperaturas extremas en América Central y en gran parte de los trópicos y subtropicos de América del Sur. Mientras que las precipitaciones más fuertes y frecuentes se han dado en el sureste de América del Sur, lo cual ha favorecido a que se den varios eventos de deslizamientos e inundaciones (Magrin, G.O., J.A. Marengo, J.-P. Boulanger, M.S. Buckeridge, E. Castellanos, G. Poveda, F.R. Scarano, 2014).

Desde aproximadamente 1965 se observaron incrementos en las precipitaciones en el sureste de América del Sur, noroeste de Perú y Ecuador; y el calentamiento promedio para estas zonas fue de 0.1°C por década

(Magrin, et al., 2014). Las proyecciones climáticas para el año 2100 sugieren un aumento de la temperatura y de los períodos secos en los trópicos de América del Sur, al este de los Andes. La deforestación y degradación de la tierra causados principalmente por el incremento y la expansión de la agricultura extensiva e intensiva, en algunas regiones la asocian con el aumento de las precipitaciones, afectando a ecosistemas frágiles como los Andes tropicales y los bordes del bosque amazónico (Castillo, 2010). Al igual que asocian el aumento de la temperatura de las zonas urbanas, a la expansión física de las ciudades por el aumento de la población, la contaminación atmosférica, y la disminución de la cobertura vegetal; ocasionando impactos en el ambiente (Borja, 2012), y alterando el equilibrio climático de los ecosistemas (Katty & Carrillo, 2017).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar la variación de temperatura y precipitación en el DMQ y su relación con los factores de desarrollo urbano.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar los cambios de temperatura y precipitación en el DMQ con datos históricos de 35 años.
- Comparar las variaciones de temperatura y precipitación en una zona urbana y una rural del DMQ.
- Analizar los factores de desarrollo urbano que influyen en los cambios entre una zona rural y una urbana del DMQ.

1.3. Alcance

Este estudio permitirá identificar el cambio que han experimentado las variables climáticas temperatura y precipitación en treinta y cinco años en el DMQ, y se podrá determinar cuánto de estos cambios dependen de los factores de desarrollo urbano. Lo cual generará información que podrá ser utilizada para toma de decisiones, proyectos, planes de manejo y mitigación, entre otros.

1.4. Justificación

En la actualidad el cambio climático es uno de los problemas y desafíos más importantes que enfrenta la humanidad (Grimm et al., 2008). Algunos factores que aceleran el cambio climático son, el crecimiento demográfico, la urbanización, la disminución de la cobertura vegetal, las fuentes móviles y la contaminación atmosférica. La población humana ha aumentado 4.5 veces, desde el inicio del siglo XX, no obstante, la mayor parte se concede a las zonas urbanas en lugares con menor desarrollo en el mundo (Melorose, Perroy, & Careas, 2015).

La variación del sistema climático involucra a algunos sectores generadores de emisiones, actividades humanas, ecosistemas, y son varias zonas afectadas por estos cambios (Lenton, Held, Kriegler, Hall, Lucht, Rahmstorf & Schellnhuber 2008). Las características físicas, geográficas, sociales y económicas del Ecuador, hacen que sea un país muy vulnerable, el cual se intensifica por los impactos del cambio climático sean estos directos o indirectos (UNDP, 2012).

En el Ecuador el organismo encargado de suministrar información del tiempo, clima y recursos hídricos es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), a través de registros que suministran las diferentes estaciones meteorológicas e hídricas. Para el Distrito Metropolitano de Quito, la institución

encargada de suministrar esta información además de la de calidad del aire es la Secretaría de Ambiente. Existen algunos estudios sobre este tema realizados por parte del Ministerio del Ambiente, del Comité Nacional del Clima y del INAMHI (Rodolfo, 2001).

Uno de los problemas que se encontró es la antigüedad de la bibliografía sobre este tema específico en Ecuador. Hay un estudio llamado “Evidencias del Cambio Climático en Ecuador”, que se lo realizó en el año de 1998, se lo hizo cuando la IPCC se encontraba en su segundo reporte de evaluación y se lo realizó en base a estaciones meteorológicas localizadas en la región litoral e interandina. No presentan datos de la Región Oriental ni Galápagos. Los resultados de esta investigación muestran tendencias crecientes de la temperatura media anual, con mayor fuerza en la región interandina y no se plantean criterios definitivos a cerca de la precipitación (Cáceres, Mejía, & Ontaneda, 1998).

Posterior a este, en el año 2001, el Comité Nacional sobre el Clima, realizó la “Primera Comunicación Nacional del Ecuador”, como muestra del interés en ayudar a la solución del cambio climático global. Estos se basan en presentar perfiles de proyectos que sirvan como medidas de adaptación y mitigación en los sectores forestal, agrícola y energético (UNFCCC, 2010). Y discute de manera general sobre el clima de Ecuador, utilizando los datos que se encuentran en el estudio de 1998. Se enfoca en el inventario de los GEI, en preocupaciones específicas como el derretimiento de los glaciares o los ecosistemas frágiles, entre otros, y en sí el esfuerzo nacional en el Proceso del Cambio Climático. La Segunda Comunicación Nacional del Ecuador sobre cambio climático se realizó en el 2011, y la tercera en el 2017.

Hay unos proyectos relativos al cambio climático como por ejemplo: “*Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales (PRAA)*”, “*Adaptación al Cambio Climático a través de una efectiva gobernabilidad del Agua en Ecuador - PACC*”, “*MAE disminuir la vulnerabilidad*

del Ecuador al cambio climático a través del manejo eficiente de los recursos hídricos”, “Validación y Análisis de Modelos de Cambio Climático para Ecuador , 2010”, entre otros (Rosales, 2013).

Por lo tanto, estudios como este permiten analizar las variaciones y tendencias de temperatura y precipitación en el tiempo, además de identificar las diferencias entre una zona urbana y una rural. Y esto puede servir como un estudio piloto, y al encontrar diferencias en el Distrito Metropolitano de Quito, se puede expandir el estudio para diferentes partes de Ecuador. Por otro lado, en el año 2017 se han registrado una gran cantidad de eventos climáticos, así como, tormentas de grandes dimensiones o huracanes, las cuales están por encima del promedio anual, que pueden haber sido provocados por los cambios en el clima (INAMHI, 2018). Según el INAMHI, se han presentado cambios en la época de verano e invierno, ha habido fluctuaciones entre sucesos extensos de calor extremo y lluvias repentinas, también la cantidad de precipitaciones esperadas para algunos meses del año fueron superadas, lo cual puede tener relación con el fenómeno de El Niño (ERFEN, 2017). El INAMHI, también alertó sobre días con mayor radiación solar en el 2017 y el 31 de diciembre de 2017, Quito recibió un record del día más lluvioso tomando en cuenta solo los 31 de diciembre desde hace 42 años. Son varias evidencias que muestran cambios que no son naturales y deben ser estudiados.

Además, en las ciudades a comparación de las zonas rurales existe una mayor contaminación atmosférica, debido a las emisiones a la atmosfera (tráfico, industrias, hogares, etc.) (Acero, 2010). El tráfico, con un 26-36%, es la principal fuente estimada de contaminación urbana en los trópicos y el Hemisferio Sur (Karagulian et al., 2015). Al igual que Quito, existe una gran cantidad de ciudades medianas y pequeñas, en rápido crecimiento que no han sido estudiadas. Las mismas que siguen disminuyendo su cobertura vegetal para la implantación de casas, edificios, industrias, etc. Estos factores tanto la disminución de la cobertura vegetal como la contaminación atmosférica principalmente por los GEI, tienen una influencia directa en las variaciones del

clima (Pérez N., Valdés V., & Ordaz C., 2012). Consecuentemente, es importante investigar a cerca de los factores que influyen en el cambio climático y compararlos (sectores urbanos y rurales), para determinar el grado de influencia de los mismos, y así poder tomar decisiones y medidas de adaptación y mitigación.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. El tiempo atmosférico y el clima

Tiempo atmosférico se define como el estado de la atmósfera en un momento y espacio establecido (Gil Jesus, De Rivera José, 1986). A los diferentes fenómenos que ocurren en la atmósfera se los denomina “meteoros”; con base a sus partículas constitutivas junto a los procesos físicos que forman parte de su formación, los mismos que pueden ser: aéreos, acuosos, luminosos, eléctricos y de polvo (Alberto, 2015).

Por otro lado, el IPCC (2014), define al clima como el “*estado medio del tiempo o, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y variabilidad de las cantidades pertinentes durante períodos que pueden ser de meses a miles o millones de años*”.

2.2. Componentes del sistema climático

El sistema climático es un conjunto de interacciones entre sus componentes, los cuales están enlazados en forma organizada y son influenciados por diversos mecanismos externos de forzamiento, entre los cuales el sol es el de mayor relevancia (Martelo, 2003).

El sistema climático está conformado por cinco componentes principales que son: atmósfera, hidrósfera, criósfera, biósfera y litosfera.

Atmósfera

Al hablar de la atmósfera se refiere a la capa gaseosa que cubre la Tierra, la cual está constituida por varios estratos en donde, la temperatura y otras propiedades cambian con la altura (Sabag, 2011).

Es importante recalcar que a pesar de que el 99,96% de la atmósfera está compuesta de gases como el nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) y argón (Ar), la relevancia meteorológica de éstos es nula, sin embargo, existen otros componentes con menor presencia como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), Ozono (O_3) y el vapor de agua (H_2O), los cuales tienen una labor de gran importancia en el sistema climático, especialmente en la absorción de la radiación terrestre (Hartmann et al., 2013).

La atmósfera está formada por una serie de capas las mismas que varían su temperatura con la altura. La capa más cercana a la superficie es la tropósfera, seguida de la estratósfera, por encima de esta se encuentra la mesósfera y por último está la termósfera (Camilloni y Vera, 2007). Como se puede evidenciar en la siguiente imagen:

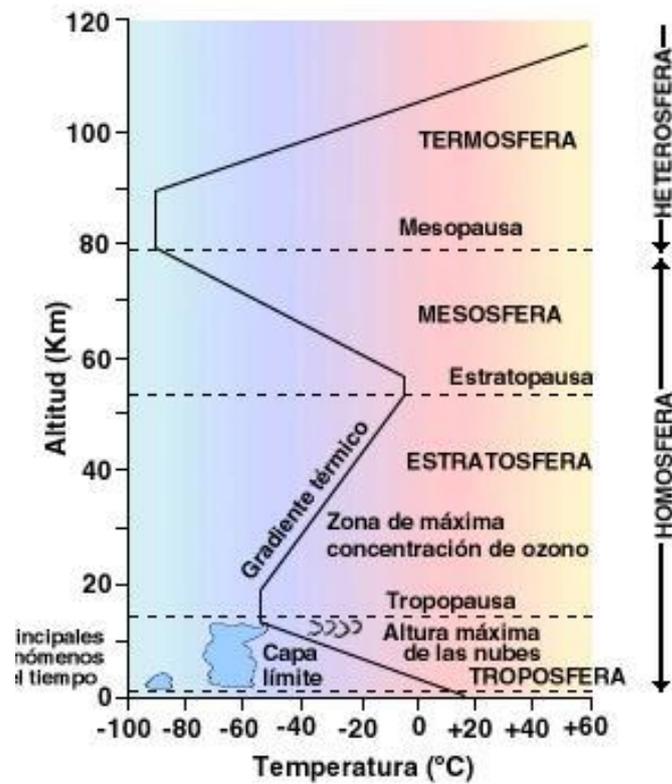


Figura 1. Perfil vertical de temperatura de la Atmósfera.

Tomado de: EUSKALMETI, 2012.

2.3. Elementos climáticos

Hay dos clases de elementos climáticos y son:

Elementos geodinámicos:

- Temperatura
- Presión
- Viento

Elementos acuosos:

- Humedad
- Nubosidad
- Precipitación

2.3.1. Temperatura

En la superficie de la tierra, la temperatura está establecida por la cantidad de calor almacenado, el cual depende del flujo entre la radiación solar de entrada y la radiación terrestre de salida, además, de los diferentes mecanismos que forman parte de ese proceso. Estos mecanismos pueden ser: el escurrimiento superficial y el grado de evaporación. Por otra parte, dentro del sistema climático la distribución de calor se da por las circulaciones atmosféricas y oceánicas (Arce, Alberto, Gómez & Sánchez, 2017).

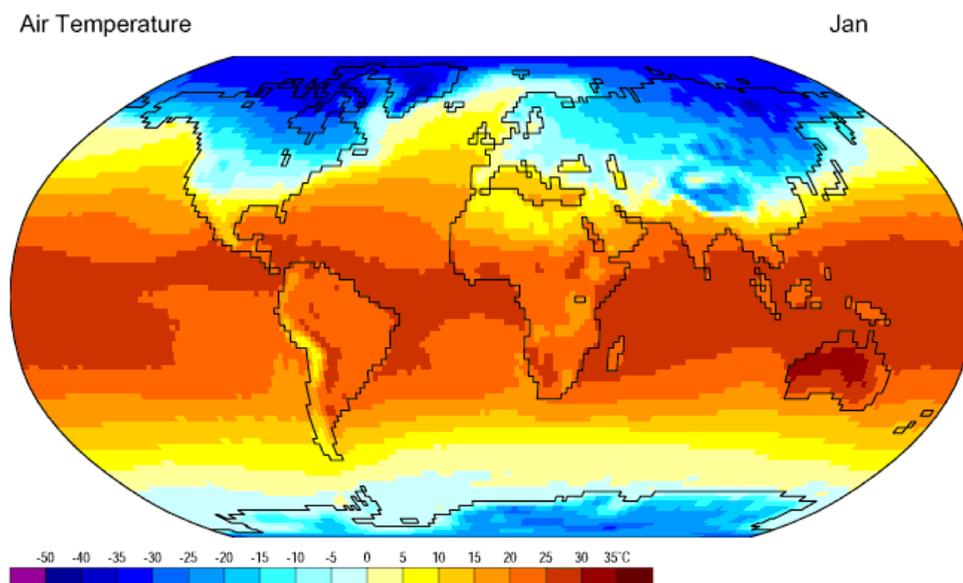


Figura 2. Temperatura global promedio de la superficie de la Tierra. Enero. NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997. Climatologies).

Tomado de: NOAA, 2014.

La temperatura promedio de la Tierra puede variar dependiendo de la zona en la que esté ubicada, entre -60 a +40 °C (figura 2) siendo los polos los lugares más fríos y los desiertos los más calientes.

2.3.2. Precipitación

La caída de agua de las nubes (estado líquido o sólido) que descienden hasta el suelo, se conoce como precipitación. Las precipitaciones se incrementan cuando la cantidad de vapor de agua en el aire aumenta; se produce una absorción de la energía irradiada por la tierra y por ende hay más probabilidad de que se generen tormentas eléctricas (Monsalve, 1999).

Las razones por las cuales la precipitación se puede originar son:

- a) Orográfica: ocurren cuando los vientos húmedos que viene del mar chocan con un relieve elevado o una montaña y se ve forzado a ascender; el aire al ir subiendo por la ladera de barlovento se enfría, puede condensarse, formar nubes y entonces llover.
- b) Convección: se genera cuando el aire se eleva por diferencia de temperatura provocado por un calentamiento local.
- c) Convergencia: el aire asciende por el enfrentamiento entre dos masas de aire, las cuales tienen características similares (temperatura y humedad).
- d) Causa ciclónica: la masa de aire frío puede parecer barrera, al ser más densa que las masas más cálidas y tiende a permanecer en los niveles más bajos.

Hay lugares donde las precipitaciones son constantes e intensas en la mayor parte del año, a diferencia de otros donde apenas llueve 1 mm al año (figura 3).

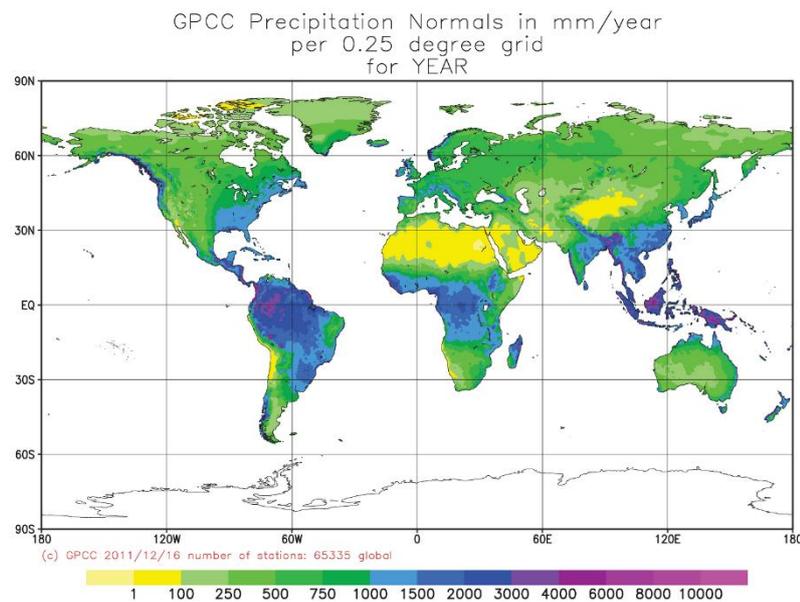


Figura 3. Precipitación global (mm/year).

Tomado de: UCAR, 2014.

2.4. Factores geográficos

Los factores geográficos son los distintos fenómenos geográficos o meteorológicos, que, al actuar sobre los elementos anteriormente mencionados, provocan diferencias de un lugar a otro con la consecuente variación del tiempo o el clima. Estos factores pueden ser: Latitud geográfica, vegetación, altitud del lugar, suelo, corrientes marinas, orientación del relieve, la continentalidad o el porcentaje de distancia de un lugar con respecto a mares y océanos interiores (Vidal-Abarca, Montes, Ramírez Díaz, & Suárez, 1987).

Latitud: la temperatura varía de acuerdo a la latitud, es decir disminuye del ecuador a los polos, debido a que, está determina la inclinación en la que los rayos de sol caen (Orellana, 2016).

Altitud: es la altura a un punto cualquiera de la superficie terrestre con respecto del nivel del mar. Esta influye sobre la temperatura y la presión atmosférica. Con respecto a la temperatura, la altitud ayuda a disminuirla,

porque, durante el día el aire de la capa inferior se calienta debido al contacto existente con la superficie, esto produce su dilación y disminuye su densidad, produciendo el ascenso del aire caliente, que se enfría al elevarse y así se expande. Lo opuesto a esto se da cuando el aire desciende y se comprime, aumentando así su temperatura (proceso adiabático) (Orellana, 2016).

2.5. Efecto Invernadero

El efecto invernadero es el mecanismo por el cual la Tierra se calienta, gracias a algunos gases de la atmósfera, por ejemplo: vapor de agua, dióxido de carbono, ozono y metano, los cuales atrapan la energía solar. La atmósfera terrestre es fácilmente atravesada por radiaciones de onda corta o de alta energía que provienen del sol. Cuando llegan a la superficie se transforman en energía calorífica o radiación de onda larga infrarroja. Los gases de invernadero son los que impiden que la radiación calorífica reflejada salga, manteniendo así la temperatura habitable para los organismos vivos (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007). Entonces, la temperatura de la Tierra está dada gracias a la cantidad de rayos solares que recibe, a la cantidad de luz solar que se refleja desde la superficie terrestre y el porcentaje en que la atmósfera guarda el calor irradiado por la Tierra.

2.6. Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Los GEI son los componentes gaseosos de la atmósfera, los mismo que pueden ser naturales o antropogénicos, y además de absorber y emitir radiación en longitud de onda del espectro de radiación infrarroja, son emitidas por la superficie de la Tierra, las nubes y la atmósfera. Esta propiedad de los gases es la responsable de producir el efecto invernadero, es decir, la radiación emitida por la superficie terrestre es absorbida por los GEI y, por lo tanto, la radiación es reirradiada en todas las direcciones, resultando así el incremento

de temperatura. Los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera de la Tierra son el vapor de agua, CO₂, N₂O, CH₄ y el O₃. Sin embargo, también se encuentra los GEI creados por los humanos, como las sustancias que contienen cloro y bromo, los halocarbonos, algunas reguladas por el Protocolo de Montreal como los hidrofluorocarbonos (HFC), el hexafluoruro de azufre (SF₆) y los perfluorocarbonos (PFC), clasificadas en GEI directos e indirectos (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007).

2.7. Cambio climático

El cambio climático es una variación significativa y duradera de los patrones globales, regionales o locales del clima, atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas. Este determina las diferencias en los valores medios existentes en un elemento climático en el tiempo. Cada vez son más las evidencias de varios procesos que confirman un cambio climático, tales como, variaciones en los parámetros de temperatura y precipitación, variación de la radiación solar, los movimientos de la corteza terrestre, al igual que variaciones en los parámetros orbitales de la Tierra como excentricidad o inclinación (Benavides & Aristizabal, 2007).

A partir de la época pre-industrial, las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicas han aumentado. El sistema climático debe intentar de algún modo adaptarse al incremento en las concentraciones de los GEI, y esto provoca un aumento de la radiación infrarroja absorbida por estos gases en la troposfera, para lograr mantener el balance energético. Esta adecuación se manifestará en un aumento de la temperatura global y así un aumento del nivel del mar, alteración en los regímenes de la precipitación y en la intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos, entre otros (Cordero & Vidaña, 2012).

Sin embargo, existe una diferencia entre, cambio climático y variabilidad climática. La variabilidad climática se da con cierta frecuencia cuando un

fenómeno produce un comportamiento anormal del clima, es temporal y transitorio (fenómeno de El Niño). A diferencia, del cambio climático que son eventos no temporales y se puede verificar con datos climáticos en el tiempo (Landa, Magaña & Neri, 2008).

2.8. El Niño-Oscilación Sur (ENOS)

El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un fenómeno natural que se basa en una interacción entre la atmósfera y el océano, la misma que sucede en la región del océano Pacífico tropical. Esto implica un cambio en la temperatura del agua en la zona oriental y central del Pacífico tropical. Eventos que ocurren en periodos que van de 3 a 7 años. En donde, las aguas superficiales de gran parte del Océano Pacífico tropical, tienden a calentarse o enfriarse entre 1° C y 3° C, en comparación con lo habitual (Kurtz et al., 2015).

Entonces, ENOS se refiere al calentamiento oscilante y al patrón de enfriamiento del océano. El cual influye directamente en la distribución de la precipitación en zonas tropicales, sin embargo, logra tener influencia en el clima de otros lugares del mundo (IMN, 2015).

El Niño constituye a la fase de calentamiento en el ciclo de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). El Niño se refiere al calentamiento anual de la temperatura del mar (superficie) por toda la costa oeste de América del Sur tropical. En cambio, La Niña corresponde a la fase fría, al enfriamiento periódico de la superficie del mar en la parte ecuatorial central y este-central en el océano Pacífico y está se produce aproximadamente de 3 a 5 años (Puertas & Carvajal, 2008).

El índice Oceánico del Niño es el factor estándar utilizado por NOAA, para identificar eventos de El Niño y La Niña. Se refiere a la anomalía media de la temperatura superficial del mar en un periodo de 3 meses para la región de El Niño. Dichos eventos corresponden a periodos consecutivos de 3 meses, los mismos que se superponen en o por encima de la anomalía (+0.5) para El Niño. Y, en o por debajo de la anomalía (-0,5) para La Niña. En el siguiente

gráfico se puede observar este índice el cual se desglosa en eventos débiles (0.5 a 0.9), moderados (1.0 a 1.4), fuertes (1.5 a 1.9) y muy fuertes (≥ 2.0). (GGWS, 2018).

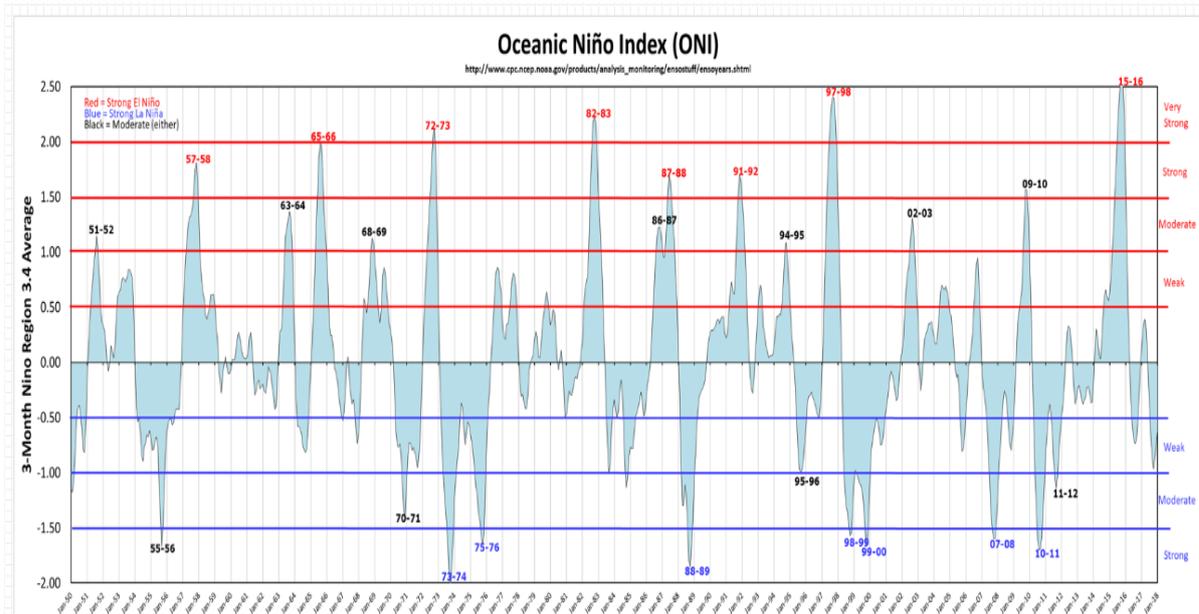


Figura 4. Oceanic Niño Index. El Niño y La Niña Years and Intensities.

Tomado de: Golden Gate Weather Services, 2018.

2.9. Modelos de predicción ARIMA.

Los modelos estadísticos que incluyen la dependencia entre los datos de las series temporales fueron desarrollados por Box y Jenkins. Esto quiere decir que en función de los valores pasados se modela cada observación en un tiempo dado para el futuro. El nombre genérico de estos modelos es ARIMA que significa *AutoRegressive Integrated Moving Average*, el mismo, que está compuesto por tres componentes que son: **AR** (Autorregresivo), **MA** (Medias Móviles) e **I** (Integrado)(Fernández, 2010).

Un modelo AR(p), es aquel en el que la variable endógena Y_t en un periodo de tiempo se expone mediante las observaciones a sí misma en periodos anteriores, al que se le adiciona un valor de error ruido blanco. AR(1), AR(2),

AR.. etc., el número es el orden del modelo, es decir, en la serie temporal cuantas observaciones de retardo analizadas entran en la ecuación (en función del orden “p” del modelo)(Jenkins, 2006).

Por otro lado, un modelo MA(q) indica el valor de una variable en determinado período de tiempo, basándose en un término independiente seguida por términos de error. De la misma forma, el orden va entre paréntesis.

Los modelos ARIMA se deben utilizar como técnica de predicción únicamente cuando las características de las series temporales permanezcan en el tiempo, es decir sean series estacionarias, de lo contrario se las debe convertir en estacionarias (Arce, 2010). Existen algunas pruebas para determinar este parámetro, una de ellas es la prueba de Dickey-Fuller.

Se va a tener dos opciones la primera es si la serie no presenta estacionalidad, los órdenes del modelo ARIMA serán (p,d,q), a diferencia de si la serie muestra estacionalidad y si es del periodo (s) 12, el modelo será de orden multiplicativo **ARIMA (p,d,q)*(P,D,Q)_s** (Camores Gonzales, 2002).

En donde: p (número de términos de autorregresión), d (número de diferencias no estacionales, que se requieren para volverlo estacionario), q (número de errores de pronóstico rezagados en la ecuación de predicción, P (autorregresión estacional al retraso temporal), D (diferencias estacionales al orden) y Q (regresión estacional en errores para el retraso)(Box, 2013b).

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el Distrito Metropolitano de Quito, el cual pertenece a la provincia de Pichincha. Está ubicado sobre la región central de la sierra ecuatoriana, se extiende sobre un contexto geográfico bastante irregular. El entorno muestra una condición de valle formado por montañas y quebradas,

generando una amplia diversidad de flora, fauna y recursos naturales, debido a la variedad de pisos climáticos y de ecosistemas (Katty & Carrillo, 2017).

Geográficamente se diferencian 3 zonas: la seca interandina, interandina y lluviosa interandina. La temperatura presente en este espacio geográfico varía entre los -4°C a los 22°C , sin embargo, en el sitio con mayor población se promedia una temperatura de 17°C (“Ordenamiento Territorial Del Distrito,” 2012). La variación pluviométrica es muy grande existiendo zonas en las cuales se registran precipitaciones menores que 400 mm anuales (ej.: Guayllabamba), a diferencia de otras zonas donde se registran precipitaciones mayores que 4.500 mm (área noroeste) (MDMQ, 2008).

En el DMQ se ha podido evidenciar un alto crecimiento demográfico, desde el año 1950 hasta el año 2010, la población se ha multiplicado siete veces hasta llegar a ser 2.239.191 habitantes, que es igual al 86,9% de la provincia de Pichincha y al 15,5% de la población nacional (“Ordenamiento Territorial Del Distrito,” 2012).

El DMQ está conformado por 32 parroquias urbanas y 33 rurales. Acorde al plan de ordenamiento territorial del DMQ, hasta el 2022 se contará con 41.211 Ha de suelo urbano y 381.203 Ha de suelo rural.

A continuación, se muestra un mapa de todo el Ecuador, en el cual se encuentran los puntos específicos del estudio del Distrito Metropolitano de Quito, además de los sitios adicionales que se utilizaron para realizar un análisis comparativo a nivel país.

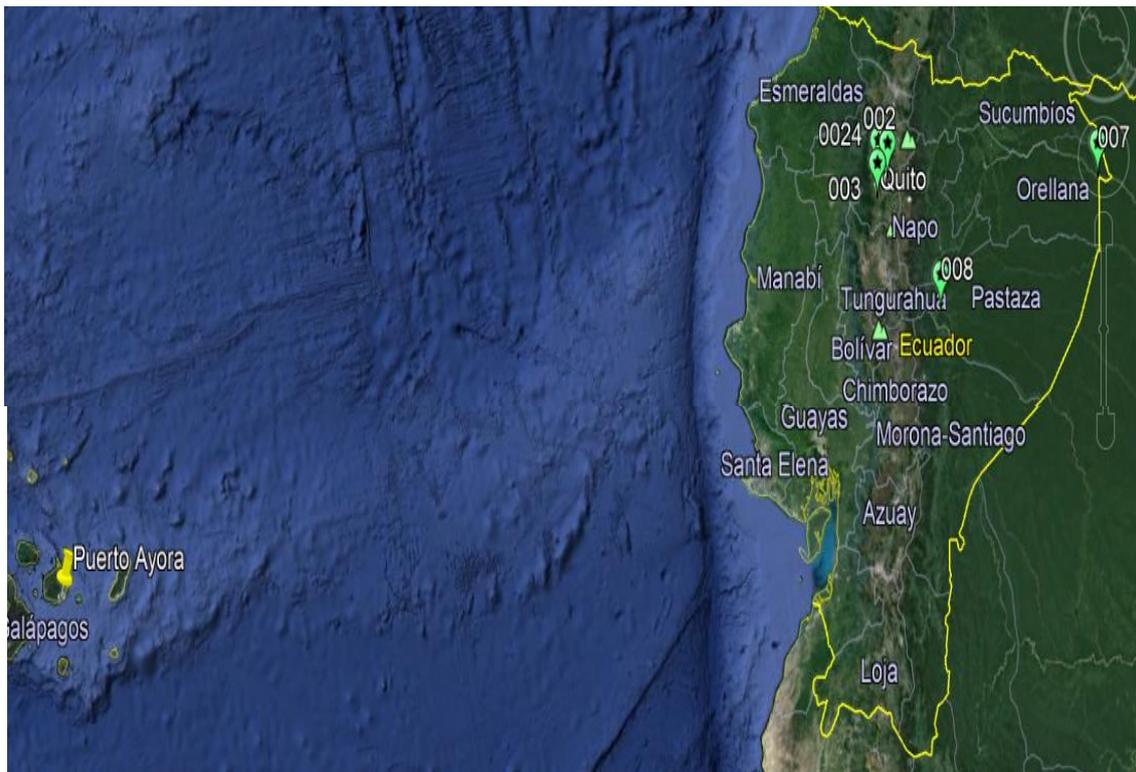


Figura 5. Ubicación de las diferentes estaciones para análisis comparativo en Ecuador.

Adaptado de: Google Earth, s.f

3.2. Datos Utilizados

Criterios de selección de las estaciones.

Inicialmente, para este estudio se utilizó información meteorológica proveniente del Instituto Nacional de Meteorológica e Hidrología, y de la Secretaría de Ambiente. Las estaciones del INAMHI fueron seleccionadas en base a las series a analizar que tengan un periodo de registro mayor o igual a 35 años, con un porcentaje menor al 10% de información faltante y que se encuentran en el DMQ (Cantor, 2011). Considerando estos criterios las estaciones seleccionadas del INAMHI (figura 6, tabla 1) fueron:

Tabla 1

Estaciones meteorológicas en el DMQ. INAMHI.

Estación Meteorológica	Ubicación	Elevación
Estación M0024 (Iñaquito)	X=0° 10' 42"S Y=78° 29' 16"O	2789.00
Estación M002 (La Tola)	X=0° 13' 54"S Y=78° 22' 13"O	2480.00
Estación M003 (Izobamba)	X=0°21'57"S Y=78°33'18"O	3058.00

Por otro lado, la data meteorológica y de calidad del aire procedente de la Secretaría de Ambiente tiene un periodo de registro de 14 años (2003-2017). Se seleccionaron tres estaciones correspondientes a las elegidas en el INAMHI, con lo que se puede validar la información. Por lo tanto, las estaciones seleccionadas fueron (figura 6, tabla 2):

Tabla 2

Estaciones meteorológicas en el DMQ. Secretaria de Ambiente.

Estación Meteorológica	Ubicación	Elevación
Estación Belisario	X=0° 10' 48"S Y=78° 29' 24"O	2835.00
Estación Tumbaco	X= 0° 12' 36''S Y= 78° 24' 36''O	2331.00
Estación Guamani	X=0° 19' 51''S Y= 78° 33' 5'' O	3066.00



Figura 6. Ubicación de las estaciones, Secretaría de Ambiente e INAMHI.

Adaptado de: Google Earth, s.f

Las distancias entre las correspondientes estaciones son:

- Entre la estación Belisario e Iñaquito (M0024) = 0,32 Km.
- Entre la estación Tumbaco y La Tola (M002) = 3,84 Km.
- Entre la estación Guamani e Izobamba (M003) = 3,87 Km.

3.3. Red de Monitoreo Atmosférico

Los datos utilizados en este estudio fueron provistos en una parte por la Red de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ). En el Distrito Metropolitano de Quito la Red de Monitoreo comenzó su funcionamiento a mediados del año 2003, sin embargo, se dispone de información valida con respaldo documental y procedimental desde enero de 2004, para algunas estaciones (Secretaría de Ambiente, 2011).

Las estaciones remotas de monitoreo pueden analizar automáticamente y continuamente: CO, O₃, NO_x, SO₂, PM_{2,5} y PM₁₀.

Los equipos son de marcas como Thermo Environmental Instruments (TEI) y TELEDYNE API.

En seguida, se muestran los parámetros y los métodos que utilizan para medirlos en cada estación (Secretaría de Ambiente, 2011):

Las estaciones Belisario y Tumbaco, tiene data meteorológica desde el año 2004. Son estaciones con sensores automáticos, para radiación solar (Kipp & Zonen), precipitación (Thies) al igual que para temperatura (Thies). Los mismos que se encuentran localizados en los techos de cada una de las estaciones de monitoreo de calidad de aire. Sin embargo, para la estación Guamani, los datos de estos tres parámetros no se encuentran para los 14 años, para temperatura y precipitación solo están de los últimos años, por lo que no se lo utilizó.

- **Material particulado grueso PM₁₀** (Thermo Scientific/FH62C14), Estación de Tumbaco.
Método: mediante alteración de rayos beta (procedimiento semejante para PM₁₀ EPA No. EQPM-1102-150).
- **Material particulado fino PM_{2,5}** (Thermo Andersen / FH62C14), Estación Belisario.
Método: mediante alteración de rayos beta (procedimiento semejante para PM₁₀ EPA No. EQPM-1102-150).
- **Ozono** (THERMO 49C / 49i), Estación Belisario, Tumbaco y Guamani.
Método: mediante absorción de luz ultravioleta (procedimiento semejante para EPA No. EQOA-0880-047).
- **Óxidos de Nitrógeno** (THERMO 42C/ 42i), Estación Belisario y Guamani.
Método: mediante quimiluminiscencia (procedimiento de referencia EPA No. RFNA-1289-074).
- **Monóxido de Carbono** (THERMO 48C/ 48i), Estación Belisario y Guamani.
Método: mediante absorción infrarroja no dispersiva (procedimiento de referencia EPA No. RFCA-0981-054).

3.4. Tendencias y Correlaciones

Todos los datos provistos por la Secretaría de Ambiente son datos horarios, la data del INAMHI es mensual. Por lo tanto, utilizando Excel se realizó la base de datos de temperatura, precipitación y contaminantes atmosféricos de las estaciones seleccionadas. Además, se calculó a partir de los datos horarios, los diarios y mensuales. Para la data del INAMHI, se realizó la base de datos mensual de temperatura y precipitación. Los datos de factores externos como son población, flota vehicular y mancha urbana fueron obtenidos de distintas fuentes (Censo 2010, INEC, Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda, además del Plan de Ordenamiento Territorial del DMQ).

Una vez lista la base de datos con la información filtrada, con datos mensuales de todos los parámetros, se procedió a construir series de tiempo anuales para las estaciones seleccionadas (Rojas, Arce, Peña, Boshell, & Ayarza, 2010).

La forma más sencilla de iniciar un análisis de una serie temporal es mediante una representación gráfica (Sierra, 2006).

Lo primero que se realizó es un análisis comparativo de las estaciones del DMQ, con las estaciones ubicadas en el Oriente, Baños y Galápagos, con datos anuales de 35 años, junto con el índice de El Niño-Oscilación Sur. Para determinar el comportamiento de temperatura en Ecuador y ver si tiene relación con este fenómeno. De igual forma, se hizo el análisis de la temperatura de las tres estaciones del DMQ del INAMHI con la temperatura global. Además, se realizó un análisis de los puntos de quiebre de las series temporales para identificar si estas coinciden con los años del fenómeno de El Niño.

Después, se procedió a analizar cada una de las estaciones del DMQ. Para determinar efectos de cambio climático es importante realizar análisis de tendencia de la variable temperatura. Por lo tanto, se realizó la descomposición de las series temporales de temperatura para obtener la tendencia, residuos y periodicidad.

Después, se realizaron gráficos empezando por temperatura, precipitación y factores externos de todas las estaciones con el tiempo. Para determinar cómo ha sido el comportamiento y las tendencias de cada variable a lo largo de los años. Además, se obtuvo el análisis de correlación de Pearson. El objetivo de las pruebas de tendencia es identificar si el valor de una variable aleatoria disminuye o incrementa respecto a un periodo de tiempo específico (Rojas et al., 2010). Se obtuvo el coeficiente de correlación múltiple y el coeficiente de determinación R^2 en Excel (Díaz, Torres, Lizama, & Boccardo, 2014). Este coeficiente se caracteriza por describir tanto la fuerza como la dirección de la relación. Se obtuvo el valor de R^2 con el que se determinó si existe o no correlación entre las dos variables y con el valor de p-value si este es menor que 0,05 entonces es una relación significativa.

Las correlaciones se las hizo primero entre temperatura y factores externos (población, vehículos y mancha urbana), de ahí temperatura vs contaminantes atmosféricos. Tanto para la zona urbana (centro norte de Quito), la zona rural (valle norte rural de Quito) y la zona determinada como semi rural (sur de Quito). Con esto se puede ver claramente las diferencias entre una zona urbana y una rural. Para el caso de precipitación se realizó correlaciones únicamente con material particulado fino, grueso y radiación solar.

Para los gráficos, cálculos y análisis se utilizaron los programas: RStudio, IGOR Pro (Wavemetrics) y MS Excel (MS Office). Además, se realizó análisis estadístico: ANOVA, t-Student y p-value, para determinar la significancia de los resultados de las diferentes correlaciones.

3.5. Validación de datos y Modelo

Una parte fundamental del trabajo fue realizar la validación de datos. Para temperatura y precipitación se realizaron correlaciones entre las estaciones correspondientes. Es así correlación entre temperatura de la estación Belisario con Ñaquito al igual que para la temperatura de Tumbaco y La Tola. Lo mismo

con precipitación. Finalmente, el proceso para la selección del modelo y del pronóstico, se puede dividir en tres etapas, descritas en el siguiente cuadro (Box, 2013b).

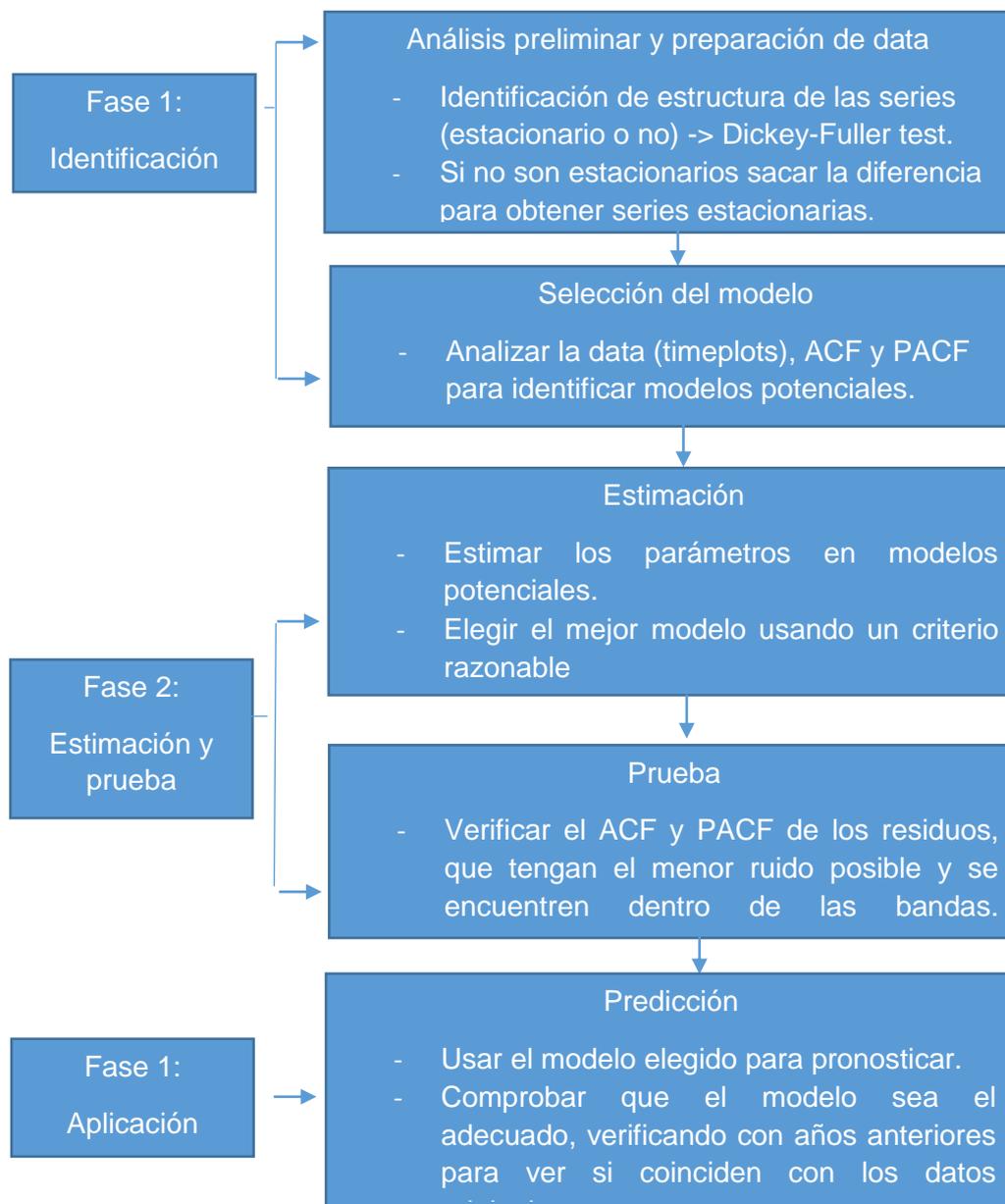


Figura 7. Proceso para la selección del modelo y del pronóstico

Entonces, para realizar el modelo de predicción lo primero que se hizo fue identificar la estructura de las series de tiempo, si son estacionarias, porque de lo contrario se tendría que realizar un proceso de obtención de la primera diferencia, etc. Se utilizó la prueba aumentada de Dickey-Fuller (adf.test), en la cual si el valor de p-valor $< 0,05$, las series temporales son estacionarias,

aceptando la hipótesis alternativa (Mahadeva, 2004). Para determinar el mejor modelo ARIMA a utilizar en cada serie de tiempo, como las series si presentan estacionalidad de periodo (s), las órdenes del modelo tuvieron que ser de tipo multiplicativo es decir, ARIMA (p,d,q)*(P,Q,D)^s. Se hizo la revisión de los ACF y PACF de los residuos, por lo tanto, se realizó varias pruebas cambiando parámetros hasta encontrar un modelo adecuado. Por último, se corrió el modelo para pronosticar y la última verificación que se hizo fue la de pronosticar años anteriores para ver si coinciden con los datos originales.

Los comandos utilizados fueron los siguientes:

1. `acf(x, lag.max=length(x)*4, main=" ")`
2. `pacf(x, lag.max=length(x)*4, main="")`
3. `Tesis = Arima(x,order=c(p,d,q),seasonal=list(order=c(P,D,Q)))`
4. `Checkresiduals (Tesis,main=" ")`
5. `pronostico<- forecast(Tesis, h=42)`
6. `plot(pronostico,xlab=" ")`

El comando 3 en adelante se realizaron varias veces hasta conseguir el modelo adecuado. El pronóstico se realizó hasta el año 2020.

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presenta un análisis de data meteorológica, contaminación atmosférica y factores de desarrollo urbano en diferentes puntos del Ecuador. Este estudio especialmente se enfoca en la ciudad de Quito. Los sitios de Quito disponen data de diferente duración variando desde 54 a 14 años dependiendo de la fuente (INAMHI, Censo, Secretaria de Ambiente, Secretaria de Movilidad, etc.). Los lugares fueron escogidos porque tienen un diferente desarrollo urbano, clasificados de la siguiente manera: Belisario/Iñaquito-urbano; Guamani – semiurbano y Tumbaco/Tola – rural (ligeramente urbanizado).

4.1. Análisis de tendencias

4.1.1. Temperatura

El análisis de datos de temperatura promedio mensual se lo realizó para distintos sitios de Quito, en comparación con algunos lugares del Ecuador. En la figura 8, se observa el comportamiento de la temperatura en varias estaciones, en un periodo de 35 años. Las ubicaciones de los sitios estudiados se pueden revisar en la figura 5.

Es claro que todos los sitios muestran una conducta parecida, sin embargo, algunos de ellos tienen picos más grandes y otros más pequeños. Adicionalmente, se consigue evidenciar que el comportamiento de la mayoría de los sitios corresponde al mismo que el índice de El Niño. El punto Orellana (línea verde claro, figura 8), es el único que no tiene esta tendencia, puede ser que al estar ubicado tan al oriente, y al pasar por los Andes el fenómeno El Niño ya no tenga el mismo efecto. Por otro lado, se puede ver que tanto la estación de Tumbaco (línea rosada) como la de Orellana no muestra una tendencia de crecimiento, sin embargo, en los últimos años ha empezado a incrementar. En el sitio Baños, la ladera de los Andes del lado oriental (línea verde oscuro, figura 8) se ve un poco más de impacto de El Niño en comparación con Orellana, pero no es tan fuerte como en los sitios de Quito y Galápagos.

El análisis realizado, lleva a determinar que estamos en una zona que si es impactada por fluctuaciones de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Cada vez que coincide el año de El Niño se dan picos de temperatura más fuertes, y lo contrario, es decir, temperaturas más bajas cuando son el año de La Niña. Más adelante se realiza un análisis más profundo sobre la influencia de El Niño y la Niña en Belisario, Iñaquito y Guamaní.

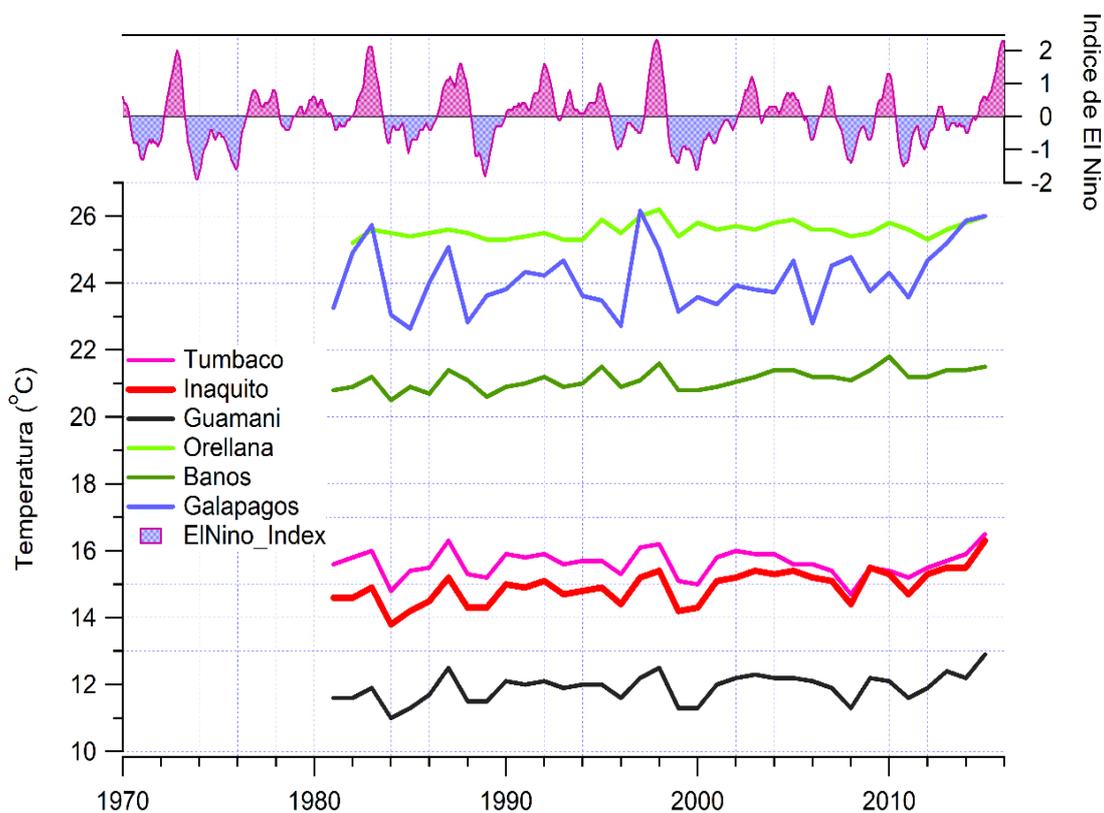


Figura 8. Comportamiento de la temperatura en el Ecuador.

Para observar mejor la variación de temperatura en cada sitio de Quito, se muestran gráficos separados de data de series de tiempo. En las figuras 9 a 12 se expone el comportamiento de temperatura de las estaciones Belisario, Iñaquito, Guamaní y La Tola, en diferentes periodos de tiempo. También se determinó la normalidad de las series de tiempo, mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, el valor de p-value debe ser $> 0,05$.

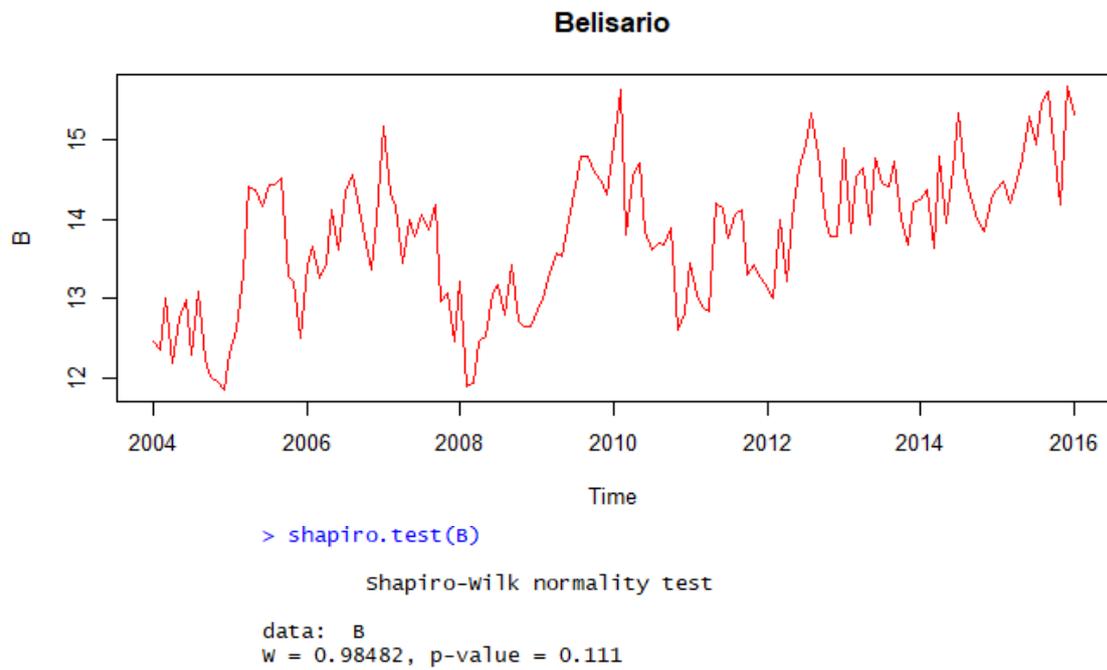


Figura 9. Comportamiento de la temperatura en Belisario

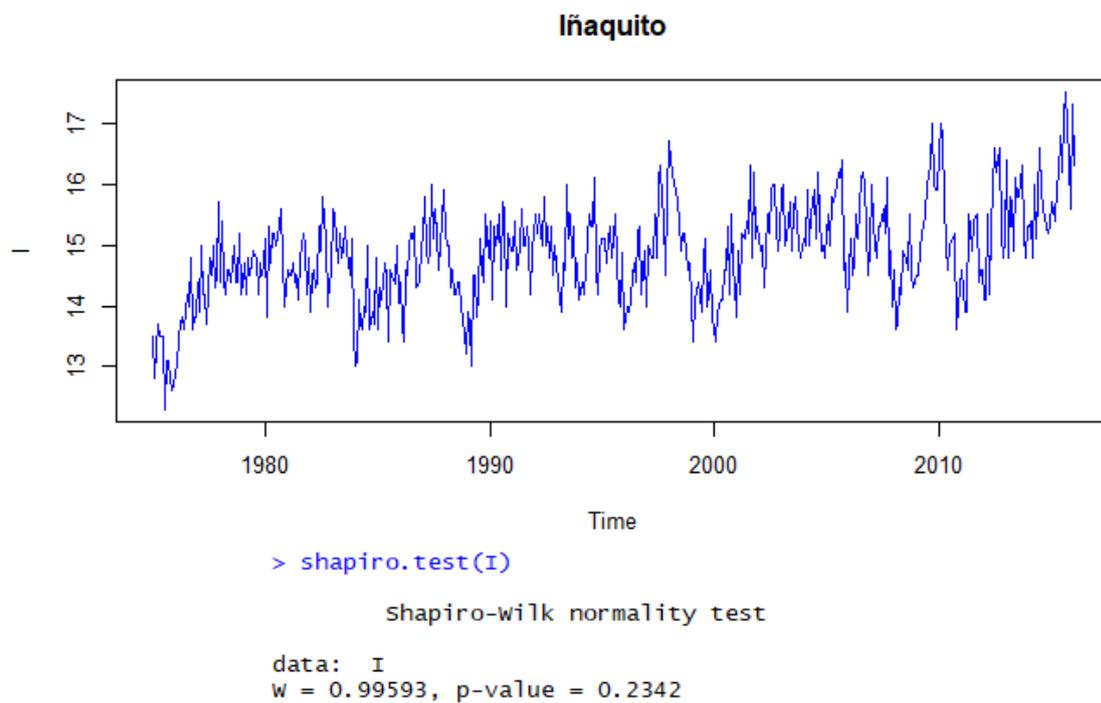
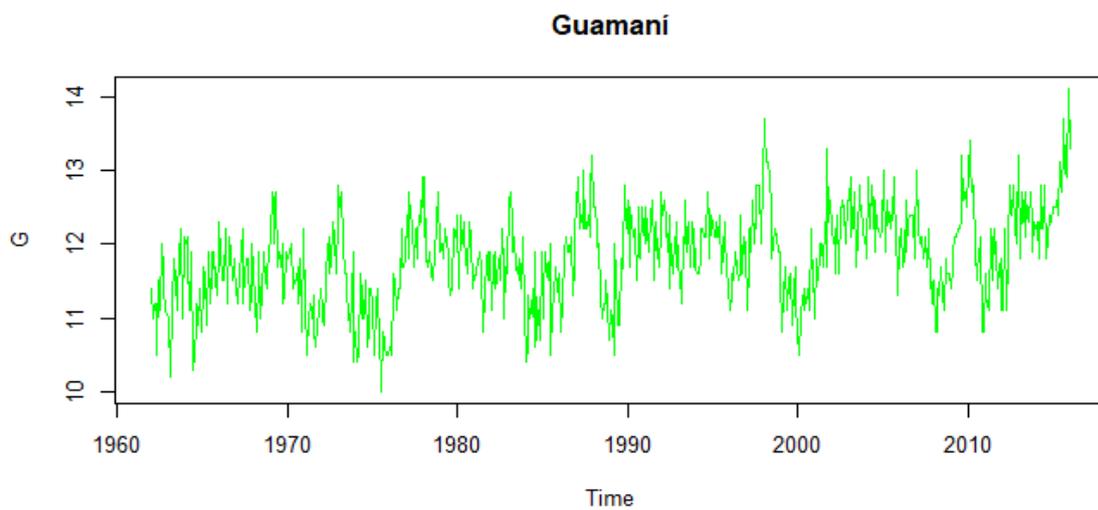


Figura 10. Comportamiento de la temperatura en Iñaquito



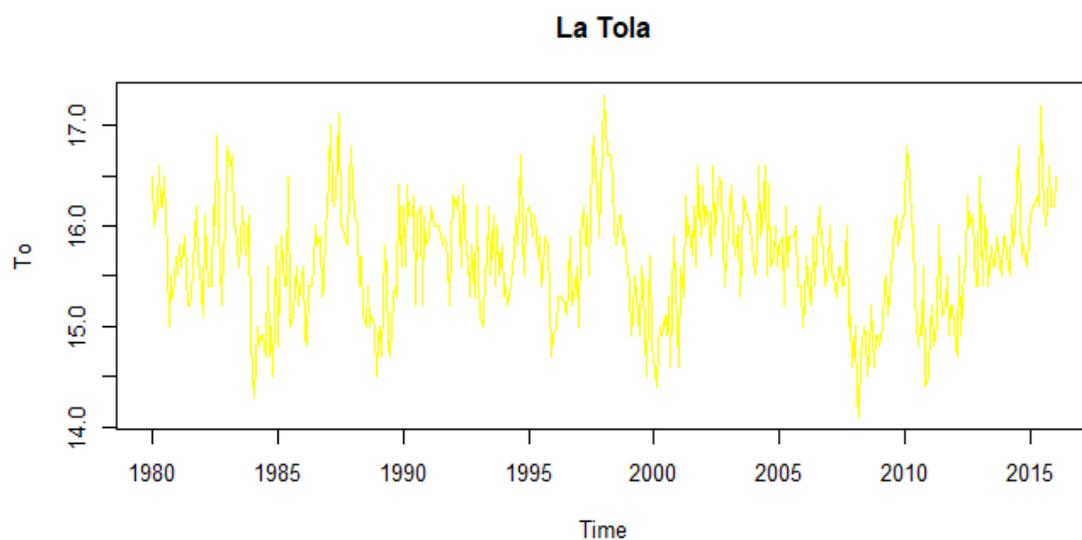
```
> shapiro.test(G)
```

```
shapiro-wilk normality test
```

```
data: G
```

```
w = 0.9954, p-value = 0.05132
```

Figura 11. Comportamiento de la temperatura en Guamaní.



```
> shapiro.test(To)
```

```
shapiro-wilk normality test
```

```
data: To
```

```
w = 0.99317, p-value = 0.04661
```

Figura 12. Comportamiento de la temperatura en la Tola.

A continuación, se muestran gráficas de la descomposición de las series de tiempo. En cada figura se identifican 4 componentes, el primero es “observed”, que es el comportamiento de la serie de tiempo de cada estación, seguido por “trend”, que es la tendencia que sigue la serie de tiempo calculado por medias móviles, luego está el componente “seasonal” que muestra la estacionalidad o el comportamiento periódico de la serie, y, por último, “random” es el parte que se obtiene eliminando la tendencia y estacionalidad de la serie temporal, conocido como los residuos de la serie. Belisario e Iñaquito (figura 13-14) muestran una tendencia de crecimiento más fuerte, en comparación con Guamaní (figura 15) Para la serie temporal La Tola, en la figura 16 no se evidencia claramente una tendencia.

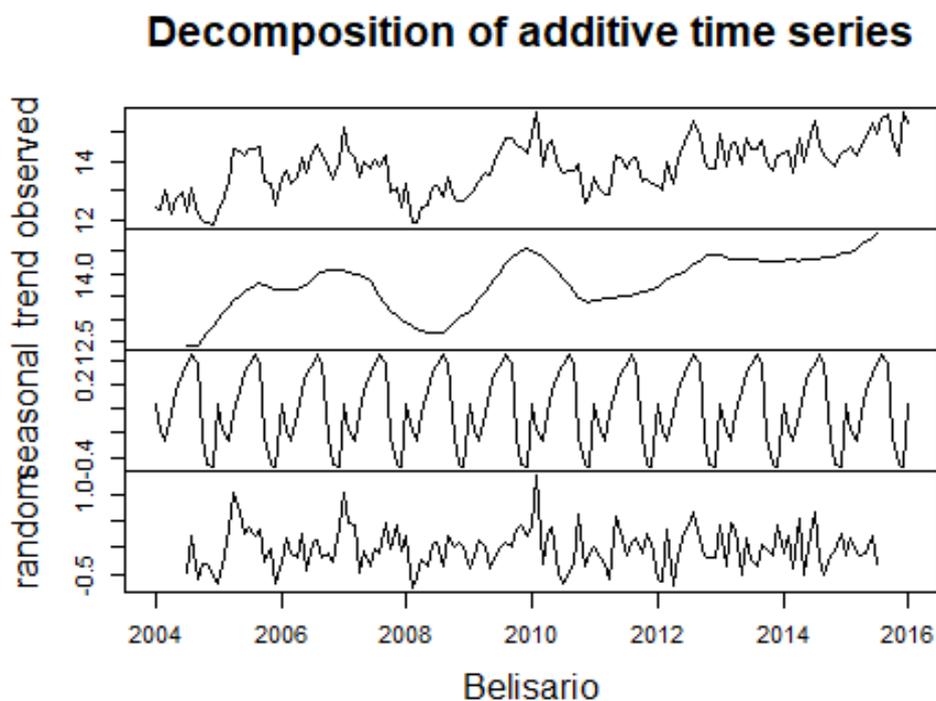


Figura 13. Descomposición de la serie de tiempo Belisario.

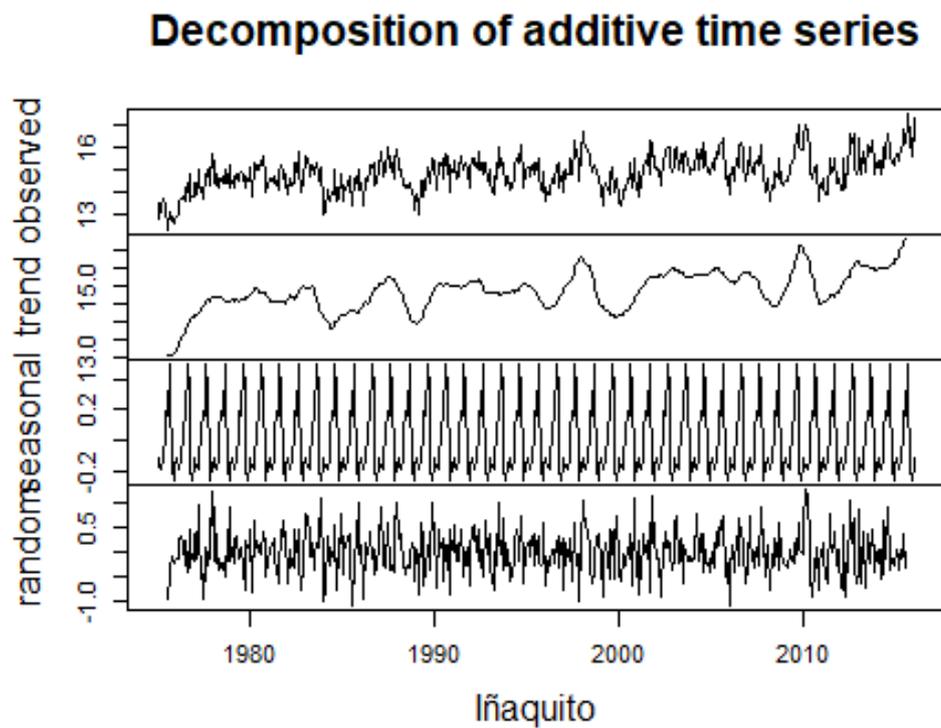


Figura 14. Descomposición de la serie de tiempo Iñaquito.

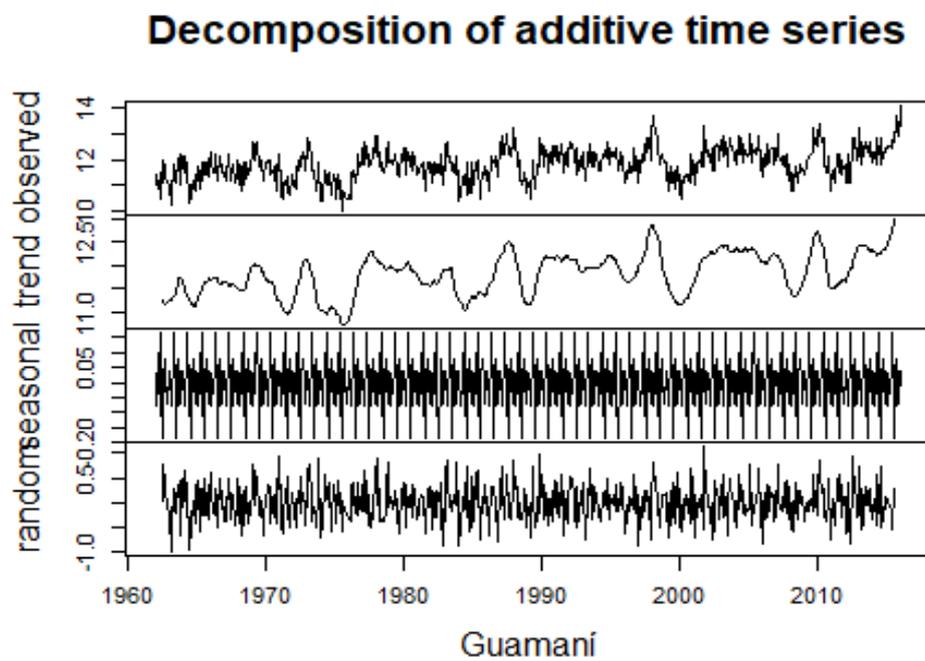


Figura 15. Descomposición de la serie de tiempo Guamaní.

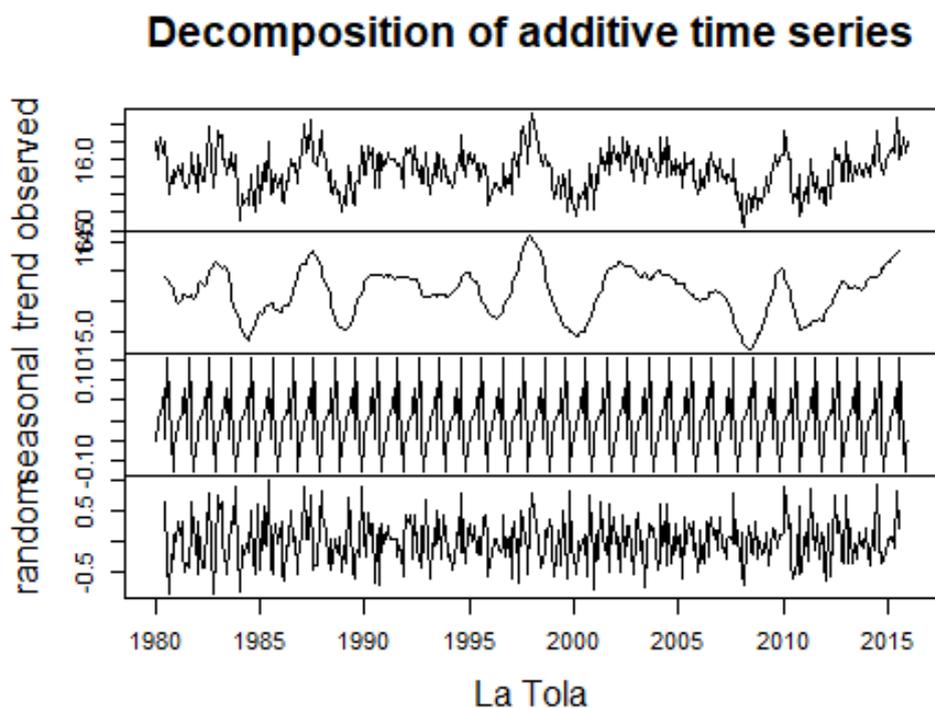
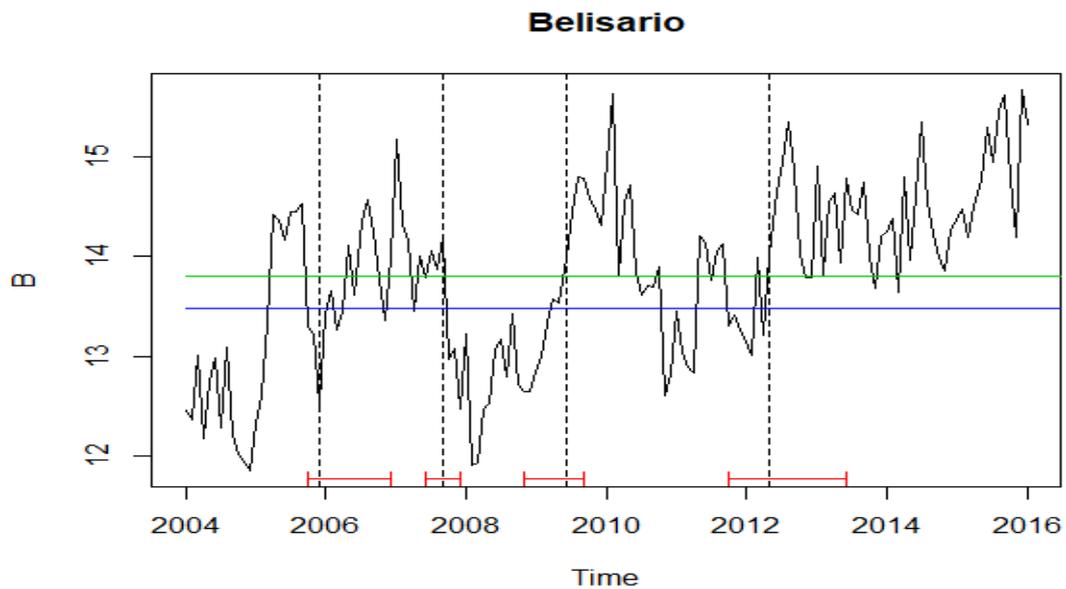


Figura 16. Descomposición de la serie de tiempo La Tola.

Además, se analizó los puntos de quiebre o de ruptura para cada serie temporal de tal manera que se pudo analizar si estos tienen relación con ENOS. En la figura 17, que corresponde a Belisario los puntos de quiebre se dieron exactamente en los años: 2005 (El Niño débil), 2007 (El Niño débil), 2009 (El Niño fuerte), 2012, 2014. Para Iñaquito (figura 18), los puntos de quiebre fueron en los años: 1981, 1986 (El Niño moderado), 1989 (La Niña fuerte), 1995 (El Niño moderado), 2001, 2009 (El Niño moderado). Y para Guamaní (figura 19) en los años: 1970 (La Niña moderada), 1976 (La Niña fuerte), 1978 (El Niño débil), 1986 (El Niño moderado), 1989 (La Niña fuerte), 1994 (El Niño moderado), 2001 y 2002 (El Niño moderado). Por lo tanto, el Fenómeno de El Niño- Oscilación del Sur tiene una fuerte influencia en estas zonas.



```
> bp.B <- breakpoints(B ~ 1)
> summary(bp.B)

      optimal (m+1)-segment partition:

Call:
breakpoints.formula(formula = B ~ 1)

Breakpoints at observation number:

m = 1          100
m = 2          65 101
m = 3         24 45 66
m = 4         24 45 66 101
m = 5         24 45 66 101 123

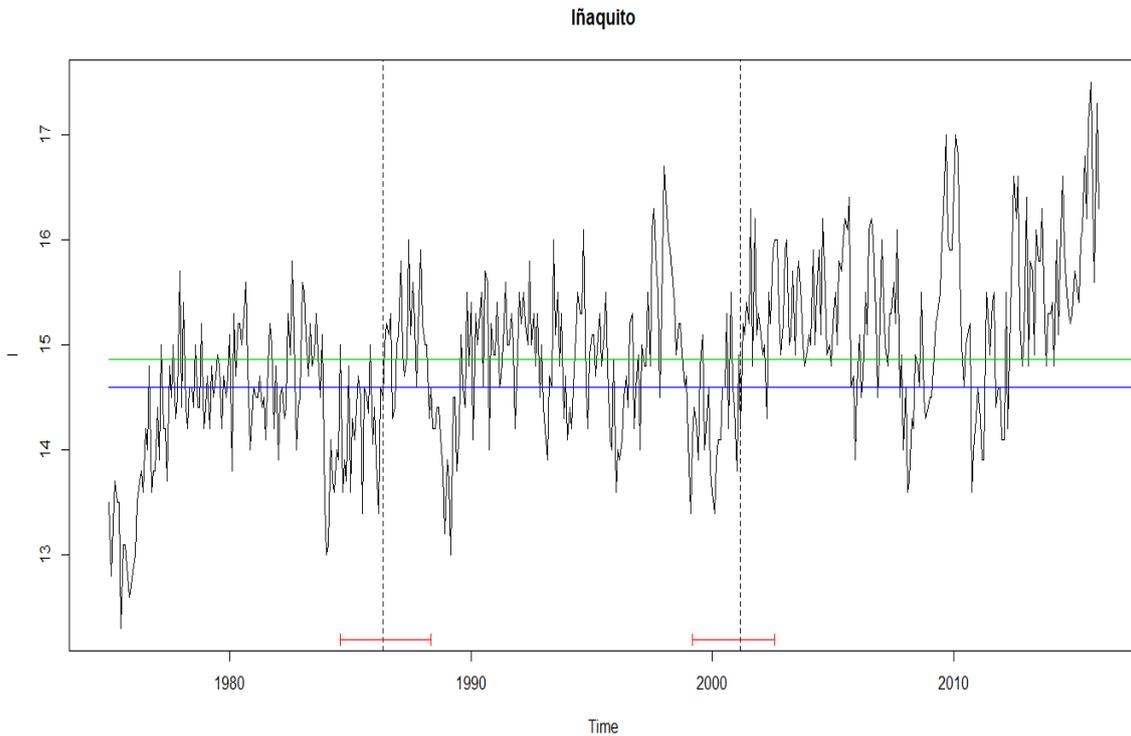
Corresponding to breakdates:

m = 1                                2012(4)
m = 2                                2009(5) 2012(5)
m = 3         2005(12) 2007(9) 2009(6)
m = 4         2005(12) 2007(9) 2009(6) 2012(5)
m = 5         2005(12) 2007(9) 2009(6) 2012(5) 2014(3)

Fit:

m  0      1      2      3      4      5
RSS 112.22  79.19  71.24  66.83  58.26  57.01
BIC 384.29 343.69 338.30 339.00 329.04 335.85
```

Figura 17. Breakpoints and confidence interval, Belisario.



```
> bp.I <- breakpoints(I ~ 1)
> summary(bp.I)
```

optimal (m+1)-segment partition:

```
Call:
breakpoints.formula(formula = I ~ 1)
```

Breakpoints at observation number:

m = 1		315	
m = 2	137	315	
m = 3	137	315	413
m = 4	73 175	315	413
m = 5	73 175 248	321	413

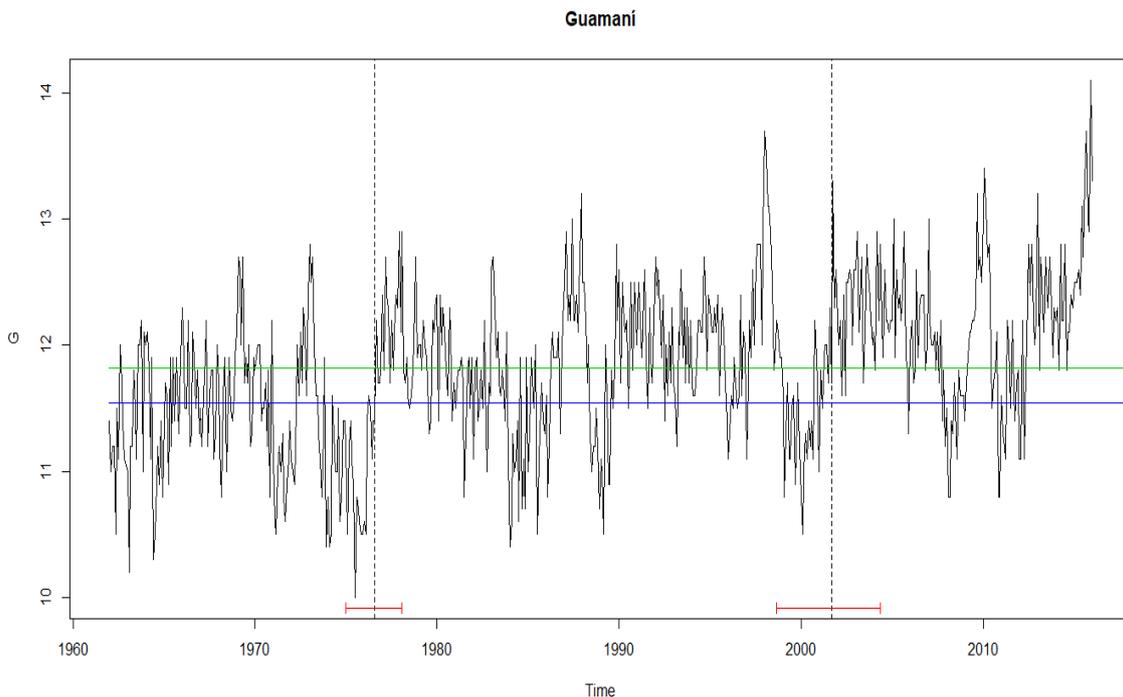
Corresponding to breakdates:

m = 1			2001(3)
m = 2		1986(5)	2001(3)
m = 3		1986(5)	2001(3) 2009(5)
m = 4	1981(1)	1989(7)	2001(3) 2009(5)
m = 5	1981(1)	1989(7) 1995(8)	2001(9) 2009(5)

Fit:

m	0	1	2	3	4	5
RSS	319.3	258.7	241.0	236.0	234.9	234.5
BIC	1197.3	1106.1	1083.4	1085.5	1095.6	1107.1

Figura 18. Breakpoints and confidence interval, Iñaquito.



```
> bp.G <- breakpoints(G ~ 1)
> summary(bp.G)
```

optimal (m+1)-segment partition:

```
Call:
breakpoints.formula(formula = G ~ 1)
```

Breakpoints at observation number:

m = 1		291			
m = 2	176		477		
m = 3	176	334		477	
m = 4	176	291	389	486	
m = 5	97	194	291	389	486

Corresponding to breakdates:

m = 1			1986(3)		
m = 2		1976(8)			2001(9)
m = 3		1976(8)	1989(10)		2001(9)
m = 4		1976(8)	1986(3)	1994(5)	2002(6)
m = 5	1970(1)	1978(2)	1986(3)	1994(5)	2002(6)

Fit:

m	0	1	2	3	4	5
RSS	249.7	209.2	199.8	197.0	197.8	202.5
BIC	1234.9	1132.9	1116.1	1119.9	1135.3	1163.6

Figura 19. Breakpoints and confidence interval, Guamaní.

Posteriormente, se muestra el comportamiento de la temperatura global con la temperatura de las tres estaciones en el DMQ, para el periodo de 35 años de data disponible para todos los sitios de estudio. Como se puede apreciar en la figura 20, la temperatura global (línea azul) tiene un comportamiento muy parecido al de las temperaturas en todas las zonas de Quito. Pero, la mejor

correlación ($R^2=0,71$) fue observada entre las temperaturas globales y la zona urbana de centro norte Quito, Iñaquito (línea naranja, figura 21). Ambos muestran una tendencia de crecimiento fuerte en los últimos 35 años. Existe una relación significativa positiva entre la temperatura global y la temperatura de la zona urbana, como se puede observar en la tabla 4 en el análisis de la varianza el valor p-value, es $< 0,001$. También se puede observar el coeficiente de correlación múltiple 0,84, que es el mismo que el coeficiente de correlación de Pearson.

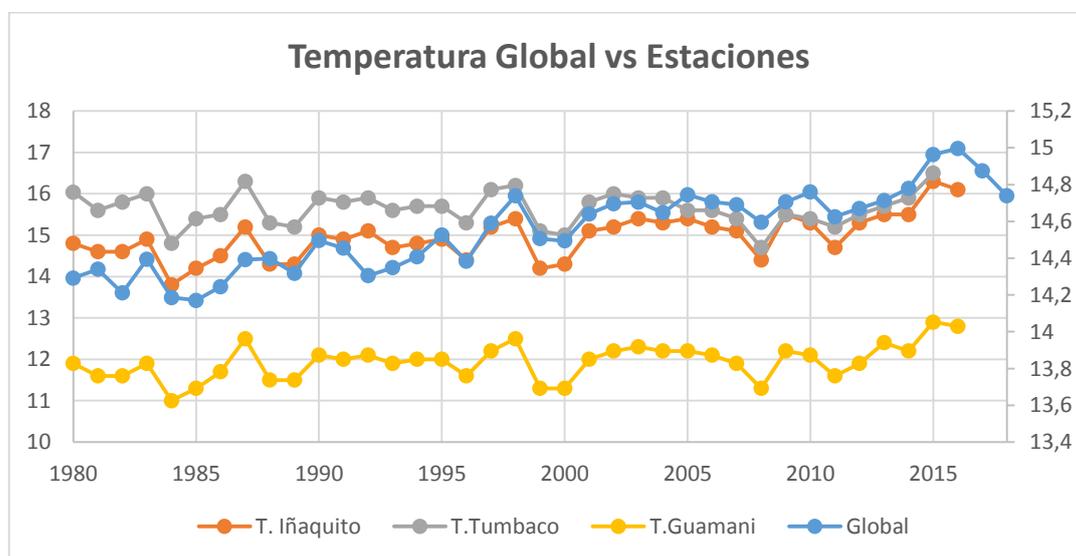


Figura 20. Comportamiento de temperatura global junto con las demás estaciones.

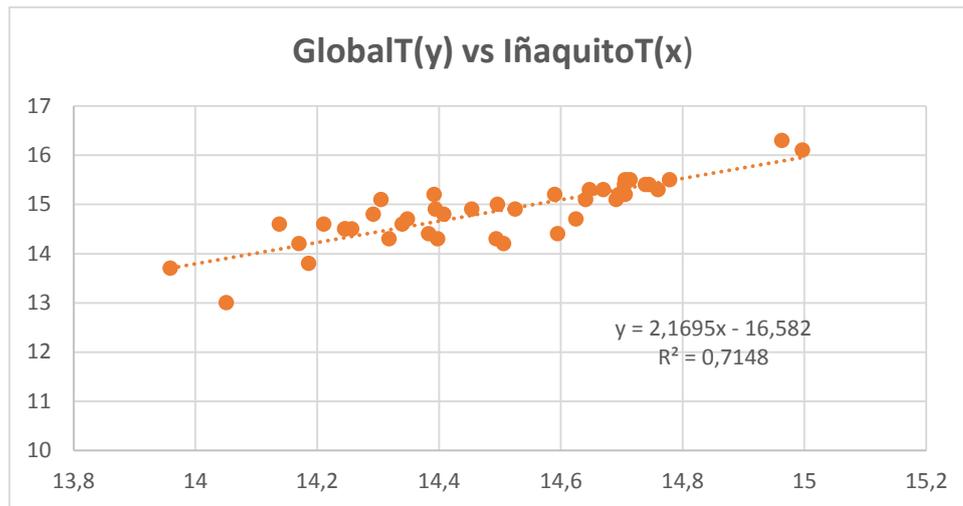


Figura 21. Correlación Temperatura global vs Iñaquito.

Tabla 3

Estadística de la correlación Temperatura Global vs Temperatura Iñaquito.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,841063661
Coeficiente de determinación R ²	0,707388081
R ² ajustado	0,699885212
Error típico	0,128442437
Observaciones	41

Tabla 4

Análisis de Varianza (correlación Temperatura Global vs Temperatura Iñaquito).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	1,55541903	1,555419027	94,282	5,8507E-12
Residuos	39	0,64340092	0,01649746		
Total	40	2,19881995			

4.1.2. Precipitación

Se realizó los gráficos de series de tiempo para ver la variación de precipitación mensual en cada sitio de Quito. La variación de precipitación en estas zonas es muy alta, es por eso que el valor de R^2 es bajo para todas las estaciones. Como se puede notar claramente (figura 22 a 24), el comportamiento de precipitación de cada una de las estaciones de estudio es muy diferente. Se ha identificado que, en el Sur de Quito, Guamani (figura 21), llueve más que en las otras dos estaciones y en el valle norte rural de Tumbaco (figura 24) la cantidad de precipitaciones es menor. Al igual que la temperatura, la precipitación también puede estar influenciada por El Niño-Oscilación del Sur. Se ha reconocido meses con picos fuertes y otros donde la precipitación es cero. La relación de esto con el fenómeno de El Niño se analizará más adelante.

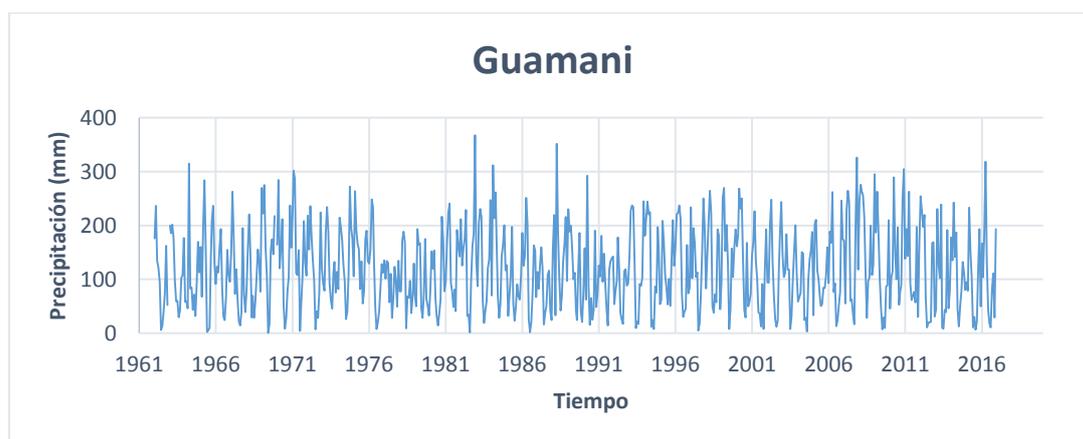


Figura 22. Comportamiento de precipitación en Guamani.

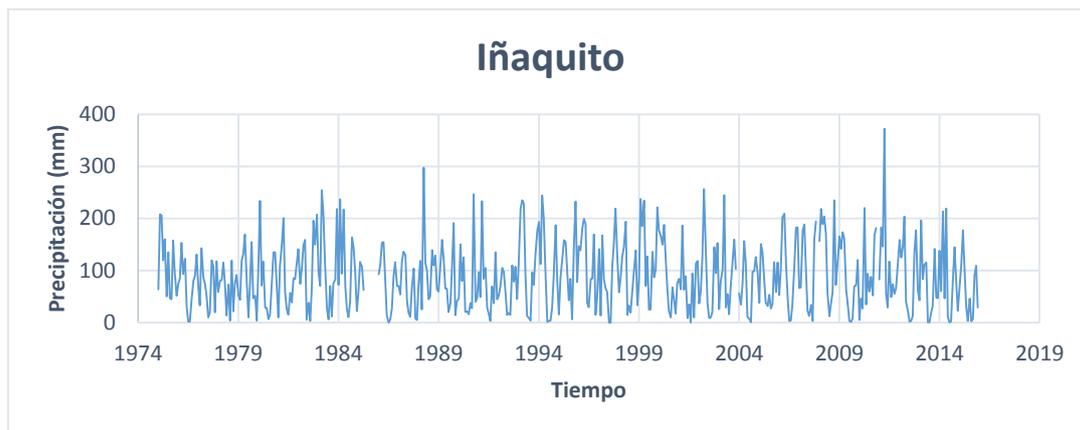


Figura 23. Comportamiento de precipitación en Iñaquito.

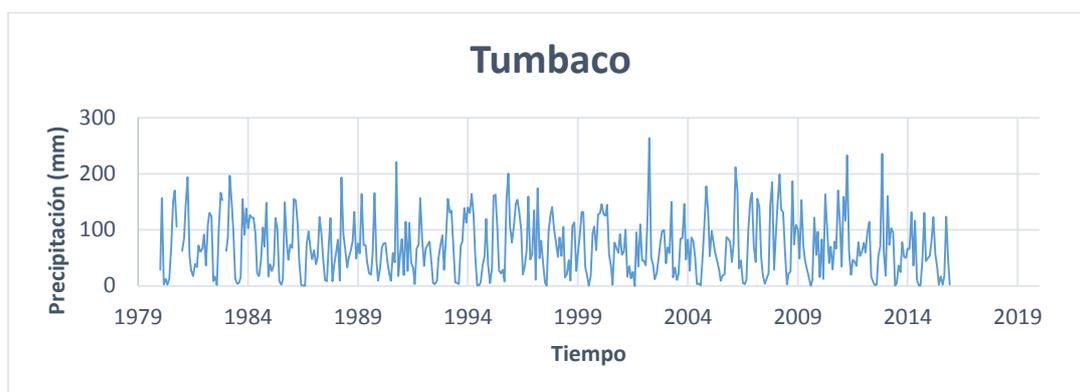


Figura 24. Comportamiento de precipitación en Tumbaco.

Se calcularon la acumulación y los máximos anuales para el norte centro de Quito, Iñaquito en 41 años y para el Sur de Quito, Guamani en 53 años. En Iñaquito que es la zona urbana de estudio, se puede apreciar en la figura 25, que en cuanto a acumulación de la precipitación hay un ligero incremento en los últimos años ($R^2=0,01$). A diferencia del Sur de Quito, Guamani (figura 26) no se evidencia cambio en la cantidad de precipitación. Esto varía para los máximos, se puede notar claramente que en el centro norte de Quito (figura 27) en los últimos años se ha presentado eventos de lluvias más fuertes ($R^2=0,07$). Por lo que, se puede esperar que para los próximos años siga esta misma tendencia y sean más este tipo de eventos. Esto sugiere que se podría esperar más inundaciones en el centro norte de la ciudad en las próximas décadas. Aunque, para tener una mayor certidumbre habría que analizar datos más frecuentes, como datos diarios u horarios.

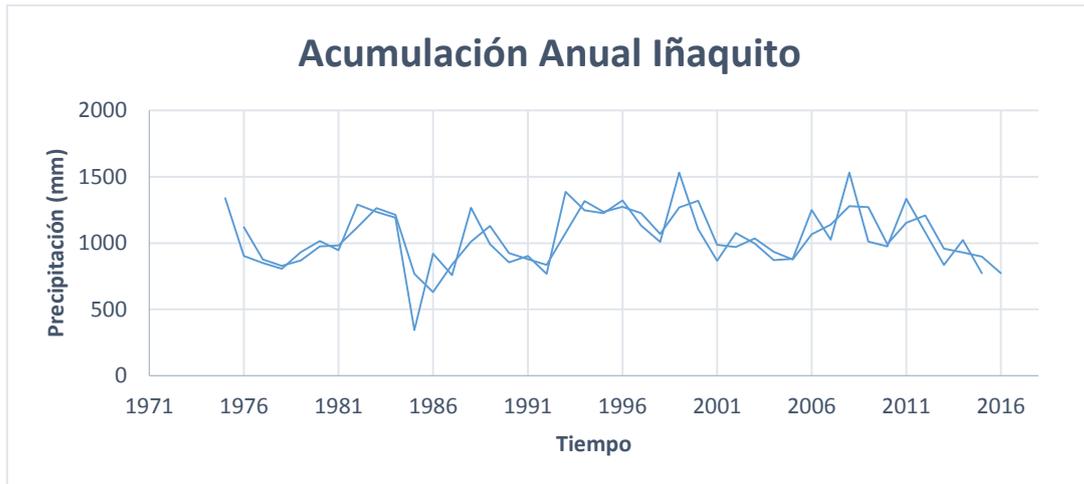


Figura 25. Acumulación anual de precipitación en Iñaquito.



Figura 26. Acumulación anual de precipitación en Guamani.



Figura 27. Máximos anuales de precipitación en Iñaquito.

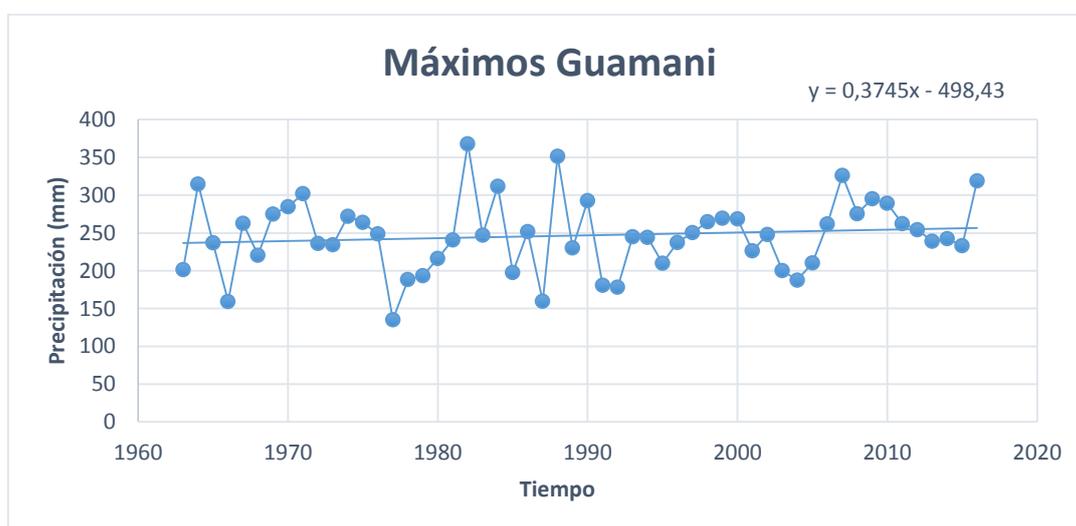


Figura 28. Máximos anuales de precipitación en Guamani.

Por otra parte, en la figura 4, del índice Oceánico de El Niño, se puede evidenciar un “El Niño débil” en los años 2004-05, 2006-07 y 2014-2015. “El Niño moderado” en los años 2009-10 y “El Niño muy fuerte en los años 2015-16. “La Niña débil” en los años 2005-06, 2008-09, 2016-17 y 2017-18. “La Niña moderada” en los años 2011-12 y “La Niña fuerte” para los años 2007-08 y 2010-11.

Se elaboraron los gráficos del comportamiento horario de la precipitación para cada año de la estación Belisario (figura 29). En la estación Belisario (Secretaría de Ambiente, DQM) solo se dispone los últimos 15 años de datos

(2003-2017). Por lo tanto, se procedió a comparar los datos horarios de precipitación de la estación norte centro de Quito, Belisario con el gráfico del Índice de El Niño y La Niña (figura 4). Se puede determinar que en los años de El Niño las precipitaciones son de mayor intensidad y cortas, a diferencia de los años de La Niña en donde, no se evidencian picos tan fuertes sino, más bien precipitaciones de “mayor duración”. Se confirmará esto con los datos de radiación solar, pues se espera que, en los años del El Niño, haya mayores picos de radiación solar, menor cobertura de nubes para diferentes horas del día. Se forman nubes de tormenta (cumulonimbus) y luego sale el sol, crea más evaporación, convección y así tormentas más fuertes y cortas (figura 33). Así, como dice Youlton, et al. (2012), la fase cálida conocida como la de “El Niño”, genera mayor cantidad de evaporación en el océano, produciendo un incremento de precipitaciones en América del Sur. Lo opuesto sucede con el fenómeno de La Niña. Estos resultados nos indican que en la región de los Andes si influye el clima por la Oscilación del Sur.

Como se puede notar en la figura 4, el perfil de El Niño en el paso del tiempo se ha intensificado, antes se observaba un El niño débil, moderado, hasta fuerte, pero en los últimos años muestra una tendencia de crecimiento, además, han ocurrido eventos de El Niño muy fuertes. Esto revela que, en el futuro, si sigue la misma tendencia, vamos a tener tormentas más fuertes, mayor intensidad en eventos extremos, etc.

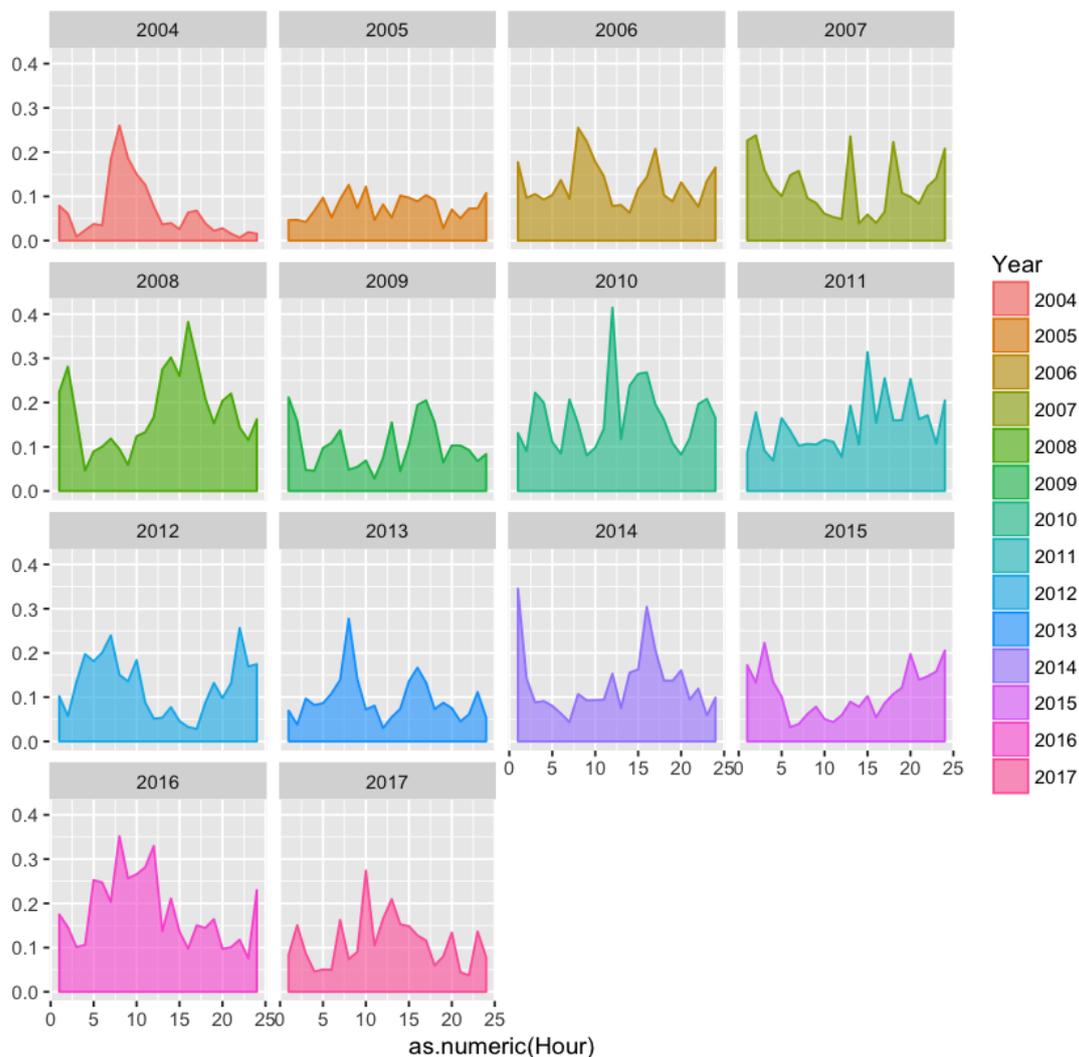


Figura 29. Precipitación horaria de la estación Belisario del año 2004 al 2007.

4.1.3. Factores Externos

Como parte del estudio, también se determinó cómo ha evolucionado en el tiempo los factores de desarrollo urbano como población, flota vehicular, mancha urbana y algunos contaminantes atmosféricos en el DMQ.

Como se puede observar en la figura 30, la población ha incrementado fuertemente, y muestra una tendencia de crecimiento ($R^2=0,997$). Posteriormente, le siguen los vehículos (figura 31), que igual han aumentado notablemente y la tendencia es positiva fuerte ($R^2=0,98$). Finalmente, la

mancha urbana (figura 32), no es la excepción, ya que, también ha incrementado en el paso del tiempo muestra una tendencia de crecimiento positiva ($R^2 = 0,95$).

Por otro lado, en cuanto a radiación solar como se puede notar en la figura 33, en la zona norte centro de Quito, Belisario ($R^2=0,03$) se ha mantenido constante en el tiempo, con un ligero incremento. A diferencia del valle norte rural, Tumbaco ($R^2=0,5$) en donde, sí se puede ver una tendencia de crecimiento positiva. También se ve que, en los años de El Niño, se tiene picos de radiación solar más altos en Belisario, lo que representa que se encontraba con menor cobertura de nube, es decir, el cielo no se hallaba cubierto de nube todo el día. En otras palabras, el cielo se despeja y luego se forman nubes (de tormenta) y después otra vez sale el sol.

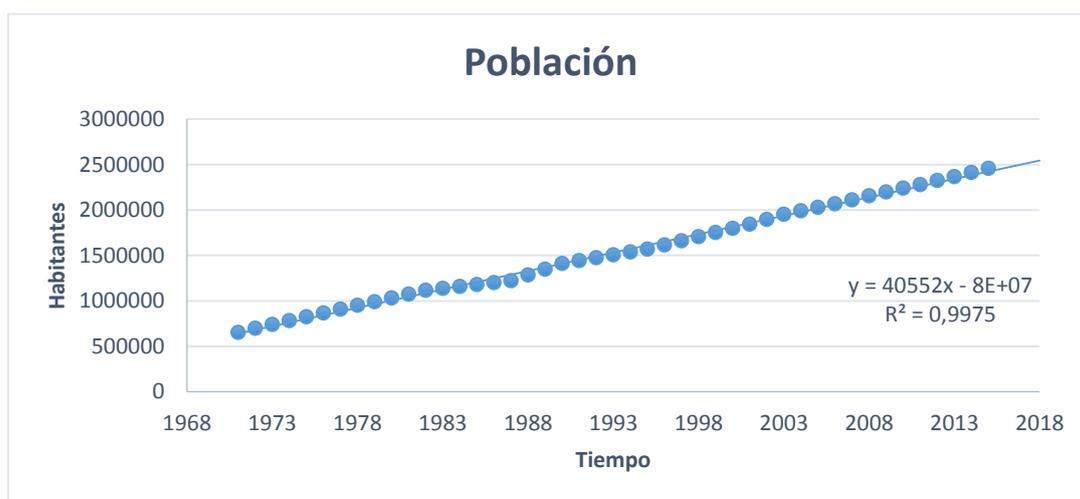


Figura 30. Crecimiento población en el DMQ.

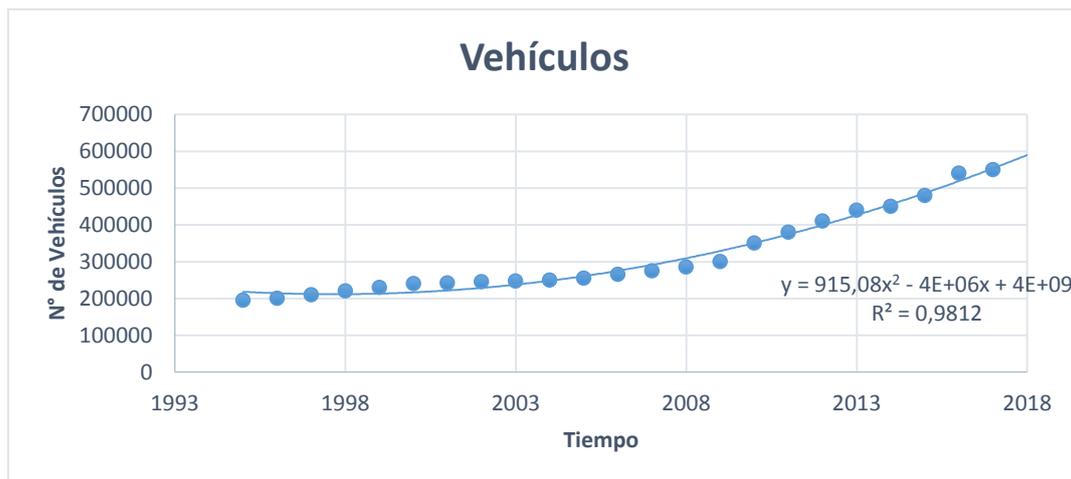


Figura 31. Crecimiento de la flota vehicular en el DMQ.

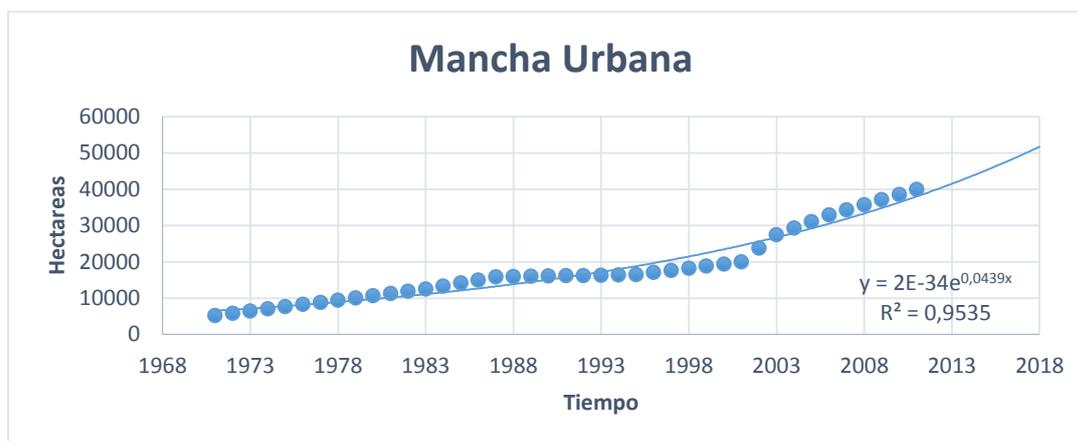


Figura 32. Incremento de la mancha urbana.

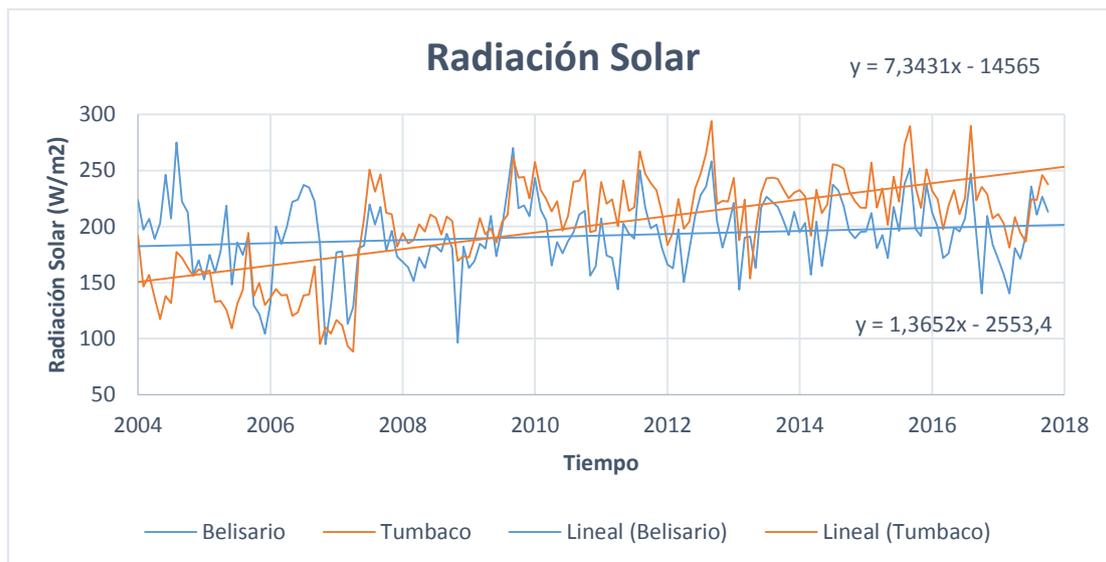


Figura 33. Comportamiento de la radiación solar en Belisario y Tumbaco.

También se hicieron los gráficos de series de tiempo para ver el comportamiento de Ozono, Monóxido de Carbono, Material Particulado fino (PM_{2,5}) y Óxidos de Nitrógeno.

Para el caso de O₃ (figura 34) el comportamiento es el mismo para la estación centro norte de Quito, Belisario (línea azul), el sur de Quito, Guamani (línea gris) y el valle norte rural, Tumbaco (La Tola) (línea naranja). El comportamiento de ozono como se puede ver en el gráfico las concentraciones están disminuyendo. En Guamani la tendencia se mantiene en el tiempo con un ligero decrecimiento ($R^2= 0,002$), en Tumbaco desciende un poco más ($R^2=0,04$) al igual que para Belisario ($R^2= 0,07$).

El comportamiento de CO como se puede apreciar en la figura 35, en los últimos años ha disminuido para las estaciones centro norte de Quito, Belisario ($R^2=0,34$) (línea azul) y el sur de Quito, Guamani ($R^2=0,03$) (línea naranja).

En la figura 36, se observa el comportamiento de PM_{2,5} para la estación centro norte de Quito, Belisario, en donde las concentraciones en los últimos años han bajado y se ha mantenido en un rango de 10 a 21 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ($R^2=0,23$).

Y, por último, las estaciones Belisario y Guamani (figura 37) exhiben un comportamiento de NO_x muy similar. Pero, en Belisario (línea azul) las concentraciones de NO_x son mayores. Muestra una tendencia de crecimiento positiva para Guamani ($R^2=0,33$) (línea naranja), y para Belisario se observa que también está creciendo ($R^2=0,22$), pero no tan fuertemente como Guamani.

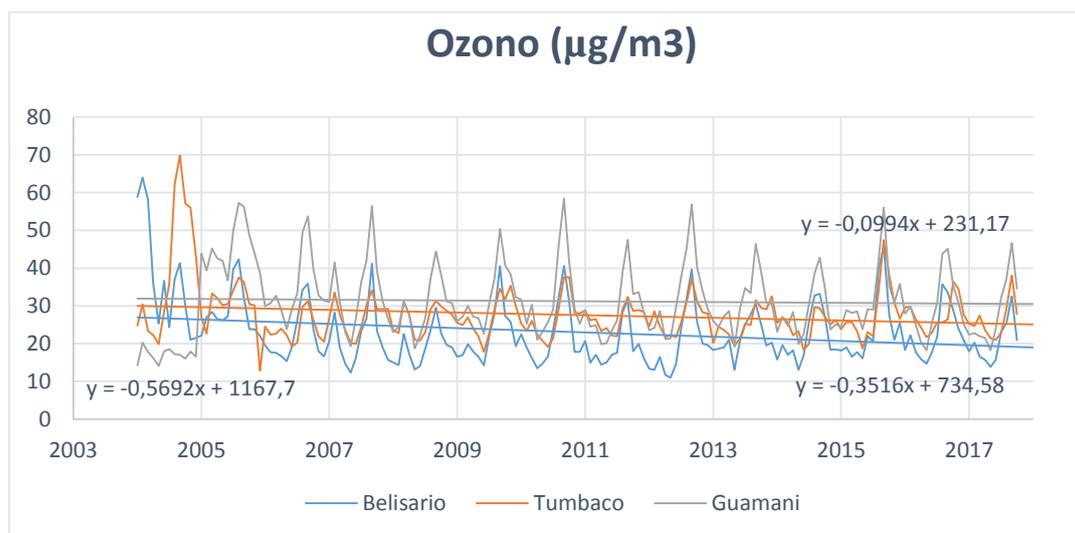


Figura 34. Comportamiento de Ozono en Belisario, Tumbaco y Guamani.

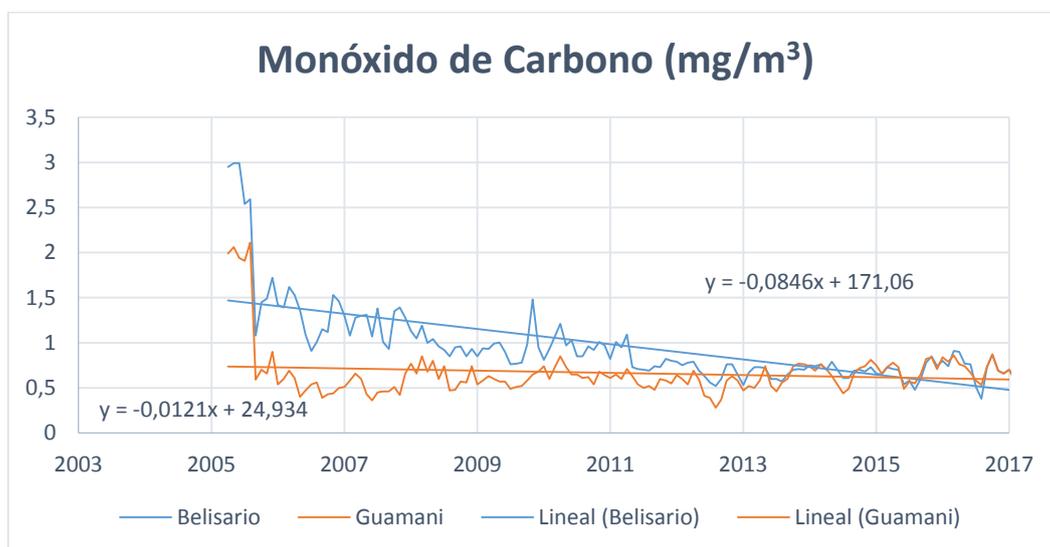


Figura 35. Comportamiento de Monóxido de Carbono en Belisario y Guamani.

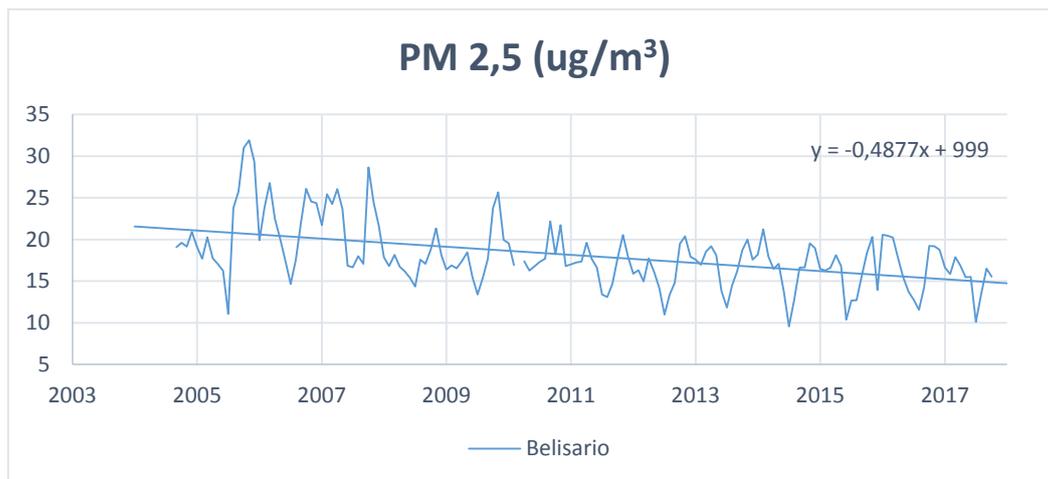


Figura 36. Comportamiento de Material Particulado 2.5 en Belisario.

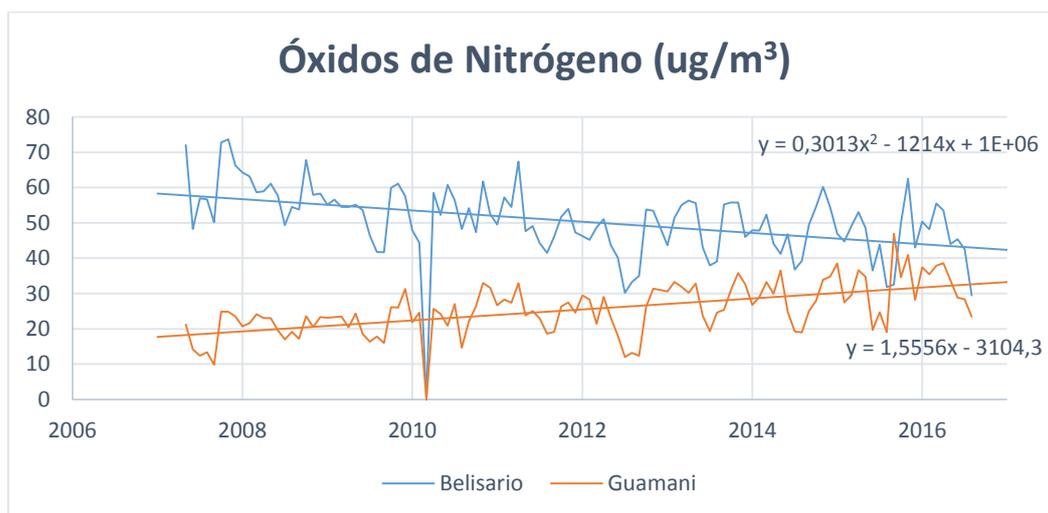


Figura 37. Comportamiento de Óxidos de Nitrógeno en Belisario y Guamani.

Como se puede ver en la mayoría de los sitios estudiados, a excepción del NO_x en el sur de Quito, Guamani que está subiendo, todos los demás contaminantes atmosféricos analizados bajan. Lo que sugiere que hay otros factores que contribuyen al crecimiento de temperatura y cambios en la precipitación, por ejemplo, los efectos de El Niño y en general los cambios globales. Cabe recalcar que los sitios estudiados no son aquellos en donde se produjo un mayor crecimiento, como Carapungo y el Camal. En estos lugares se ha demostrado que ha existido un incremento de concentraciones en algunos contaminantes, sin embargo, por la presencia de diferentes

regulaciones, se han reducido los niveles de contaminación atmosférica (Zalakeviciute, Rybarczyk, López-Villada, & Diaz Suarez, 2017).

4.2. Correlaciones

Se procedió a realizar las correlaciones entre los factores de desarrollo urbano con temperatura y precipitación en las diferentes estaciones. Para determinar si estos factores influyen en estas variables climáticas y ver las diferencias entre una zona urbana y una rural.

4.2.1. Temperatura

4.2.1.1. Población

Existe una correlación positiva significativa como se puede ver en la tabla 4 entre temperatura vs población en el área urbana ($R^2=0,49$) (figura 38), a diferencia, de la zona rural como muestra la tabla 6 en donde esta correlación es positiva pero no significativa, así lo determina el valor de p-value $> 0,001$.

Esto evidencia uno de los efectos que se tiene en las ciudades. Por el incremento de población y las actividades humanas, ha provocado un aumento de temperatura en los últimos años. Además, las tendencias del futuro muestran que el crecimiento va a ser el mismo, por ende, se espera que la temperatura en las ciudades sea más fuerte que en las zonas rurales. Como dice Orellana, (2016), en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, la excesiva urbanización y el incremento de la población humana, han logrado provocar un cambio climático y la diferencia máxima de temperatura, normalmente puede ser de 3 a 5 °C entre una zona urbana y otra rural. En el DMQ, la diferencia máxima de temperatura entre una zona urbana y una rural en los datos de INAMHI muestra el incremento de 1,7°C en Iñaquito en los últimos 35 años (figura 39), mientras en Tumbaco no hay cambio. A diferencia, de los datos de S.A., muestra el incremento de 2°C en ambas zonas en los

últimos 14 años (figura 39). Esto nos propone que hay incremento más intensificado en los últimos años.

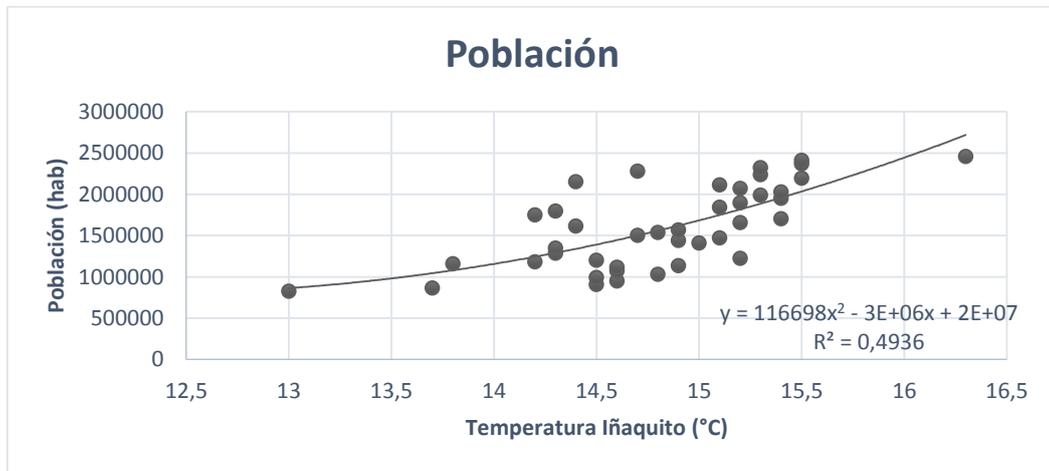


Figura 38. Correlación entre temperatura y población zona urbana.

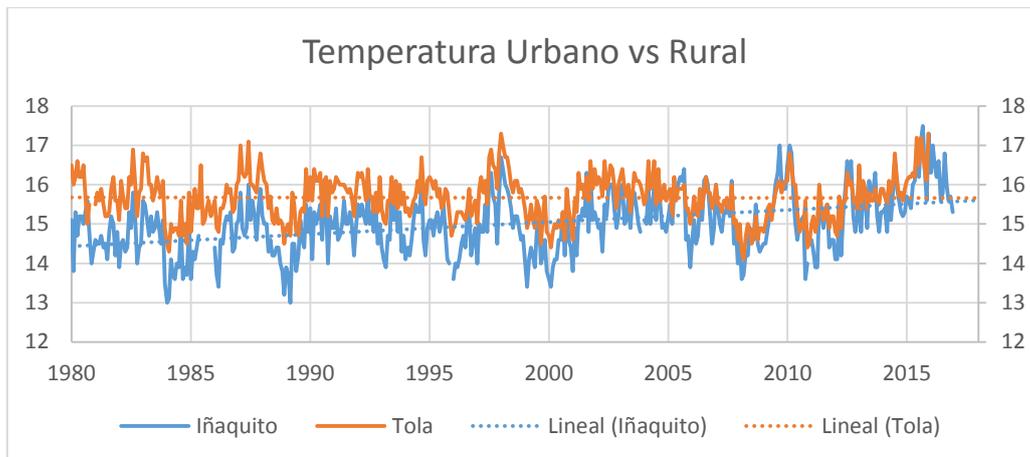


Figura 39. Comportamiento de temperatura zona urbana y zona rural, con data de INAMHI.

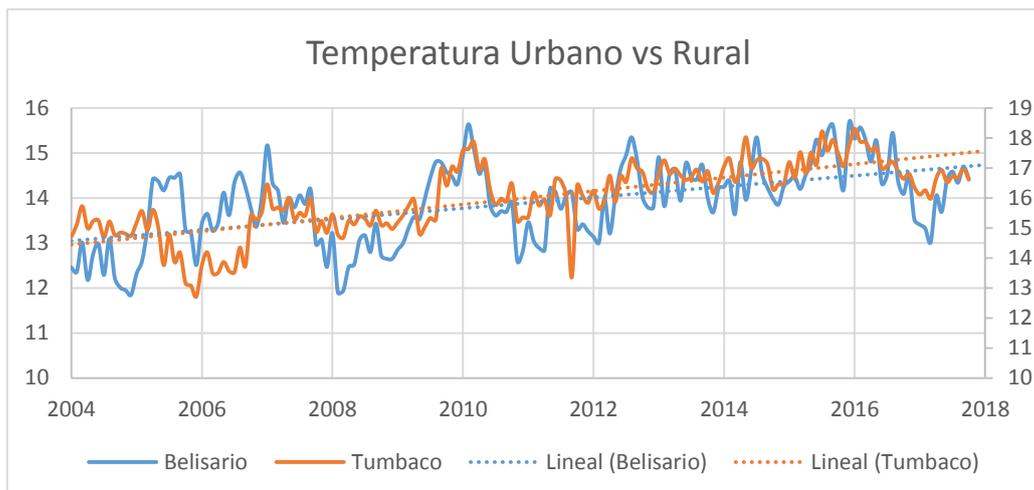


Figura 40. Comportamiento de temperatura zona urbana y zona rural, con data de S.A.

Tabla 5

Estadística de la correlación Población vs Temperatura. Zona Urbana.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,627407165
Coeficiente de determinación R ²	0,39363975
R ² ajustado	0,375805625
Error típico	0,433071119
Observaciones	36

Tabla 6

Análisis de Varianza (correlación población vs temperatura. Zona Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	4,1396687	4,139668694	22,072	4,2158E-05
Residuos	34	6,3767202	0,187550594		
Total	35	10,5163889			

Tabla 7

Estadística de la correlación Población vs Temperatura. Zona Rural.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,17289285
Coeficiente de determinación R ²	0,02989194
R ² ajustado	-0,00356007
Error típico	0,39428838
Observaciones	31

Tabla 8

Análisis de Varianza (correlación población y temperatura. Zona Rural)

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	0,13891843	0,138918434	0,8936	0,3523199
Residuos	29	4,5084364	0,155463324		
Total	30	4,64735484			

4.2.1.2. Flota Vehicular

En cuanto a la flota vehicular la situación es parecida a la población, el incremento de los vehículos en el paso de los años es muy evidente en la ciudad. Los vehículos son fuente de contaminación y algunos de los gases que emiten son gases de efecto invernadero como el CO₂, lo cual ayuda a que la temperatura sea mayor en los centros poblados, contribuyendo al efecto de isla de calor urbana. Por otro lado, en las ciudades se produce calor por causa de la quema de combustibles en vehículos. Estas son las características que hacen que el aire urbano sea más caliente en comparación con los alrededores (Jauregui, 1991).

Como se puede ver en la figura 41 y en la tabla 10 con un p-value < 0,001, la correlación entre flota vehicular y temperatura en la zona urbana es positiva significativa ($R^2=0,51$). Siendo diferente en la zona rural pues la correlación es positiva pero no significativa, porque el valor de p-value es mucho mayor a 0,001 (tabla 12).

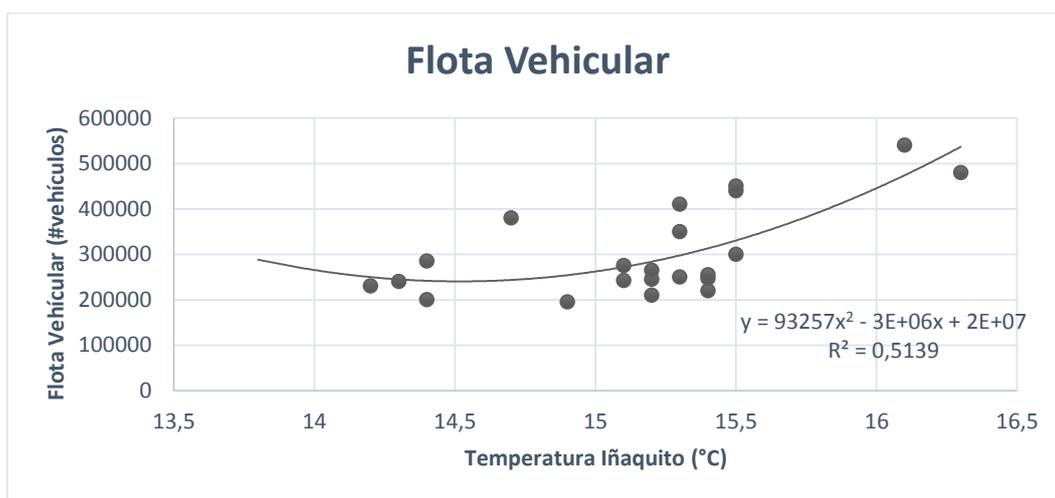


Figura 41. Correlación entre temperatura y vehículos, zona urbana.

Tabla 9

Estadística de la correlación Vehículos vs Temperatura. Zona Urbana

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,62317117
Coeficiente de determinación R ²	0,3883423
R ² ajustado	0,35775942
Error típico	0,42361778
Observaciones	22

Tabla 10

Análisis de varianza (correlación vehículos vs temperatura. Zona Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	2,278686725	2,278686725	12,6980	0,000195
Residuos	20	3,589040547	0,179452027		
Total	21	5,867727273			

Tabla 11

Estadística de la correlación Vehículos vs Temperatura. Zona Rural.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,16195584
Coeficiente de determinación R ²	0,02622969
R ² ajustado	-0,02502138
Error típico	0,43383574
Observaciones	21

Tabla 12

Análisis de Varianza (correlación vehículos vs temperatura. Zona rural).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	0,09632543	0,09632543	0,5118	0,48306518
Residuos	19	3,57605553	0,18821345		
Total	20	3,67238095			

4.2.1.3. Mancha Urbana

En cuanto, a mancha urbana como se puede ver en la tabla 14 la correlación es igual positiva significativa para las zonas urbanas (figura 42) ($R^2=0,37$). En las zonas rurales es positiva pero no significativa (tabla 16) mostrando un p-value $> 0,001$.

Lo cual se explica porque Quito es la ciudad más poblada y al ser la capital del Ecuador, cada vez son menos las zonas no pobladas. Se ha podido evidenciar un cambio en mancha urbana en el tiempo, ha desaparecido gran cantidad de cobertura vegetal por las diferentes actividades humanas. Es decir, se ha reemplazado la cubierta vegetal por un substrato impermeable, cambio en la reflexión de superficies (cambio de albedo). Y al desaparecer la cobertura vegetal, afecta al equilibrio en el clima. Por ende, al ser los árboles los que mantienen este equilibrio, se genera una variación y como en vez de vegetación se colocan materiales de construcción para vías, edificios, etc., estos contribuyen a un aumento en la temperatura en las zonas urbanas (Prats, Vicente-serrano, & Sánchez, 2005).

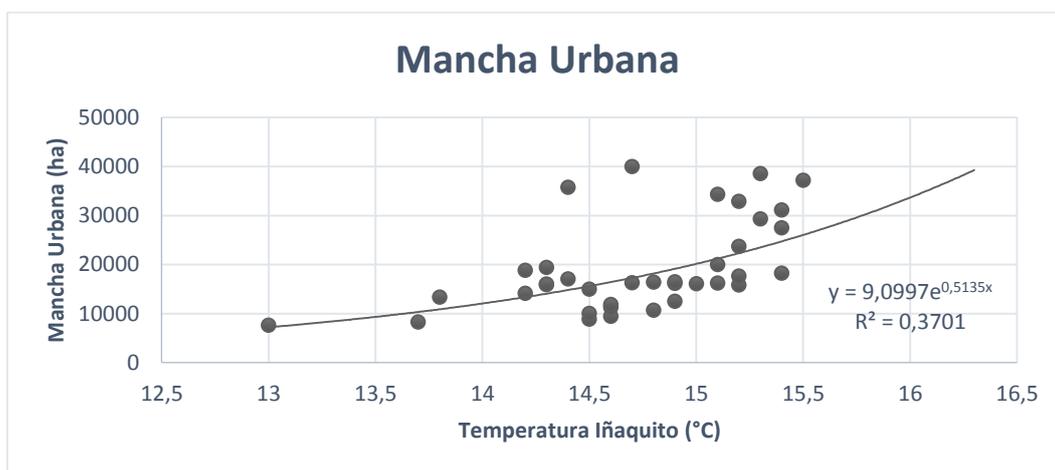


Figura 42. Correlación entre mancha urbana y temperatura, zona urbana.

Tabla 13

Estadística de la correlación Mancha Urbana vs Temperatura. Zona Urbana.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,53512723
Coeficiente de determinación R ²	0,28636115
R ² ajustado	0,26597147
Error típico	0,46308135
Observaciones	37

Tabla 14

Análisis de Varianza (correlación mancha urbana vs temperatura. Zona Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	3,01174539	3,01174539	14,0444	0,0006436
Residuos	35	7,50555191	0,21444434		
Total	36	10,5172973			

Tabla 15

Estadística de la correlación Mancha Urbana vs Temperatura. Zona Rural.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,2766206
Coeficiente de determinación R ²	0,07651896
R ² ajustado	0,04573625
Error típico	0,38493385
Observaciones	32

Tabla 16

Análisis de Varianza (correlación mancha urbana vs temperatura. Zona Rural).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	0,36832782	0,36832782	2,4858	0,12536754
Residuos	30	4,44522218	0,14817407		
Total	31	4,81355			

4.2.1.4. Radiación solar

Como se puede apreciar en la figura 43, ($R^2=0,4$) hay una correlación positiva significativa en la zona del valle norte rural de Tumbaco, confirmándolo en la tabla 20. El centro norte de Quito, Belisario muestra una correlación positiva pero no significativa entre radiación solar y temperatura, pues en la tabla 18 se evidencia que el valor de p-value es mayor a 0,001.

Puede ser por la ubicación geográfica de Tumbaco al estar en un Valle. Ésta región con altura más baja normalmente tiene menor cobertura de nubes. Mientras, en el centro norte de Quito con mayor altura, existe levantamiento de masas de aire por las laderas del volcán Pichincha y formación de nubes.

Según la IPCC, (2014), el sol ha expuesto una tendencia de enfriamiento en los últimos 35 años, lo que también se puede observar en la figura 33. Sin embargo, se puede ver que las temperaturas siguen aumentando a nivel local como global. Por lo que se propone que, si la energía del sol está decreciendo y la Tierra se sigue calentando, entonces, existen otros factores contrarios a la radiación solar que tiene mayor control de la temperatura.

En cuanto a $PM_{2.5}$ y radiación solar (figura 44) muestra una correlación positiva débil ($R^2= 0,22$). Se conoce que los efectos más importantes del material particulado en la radiación solar son la absorción y la dispersión de las longitudes de onda cortas y larga (De Rivera, 2002).

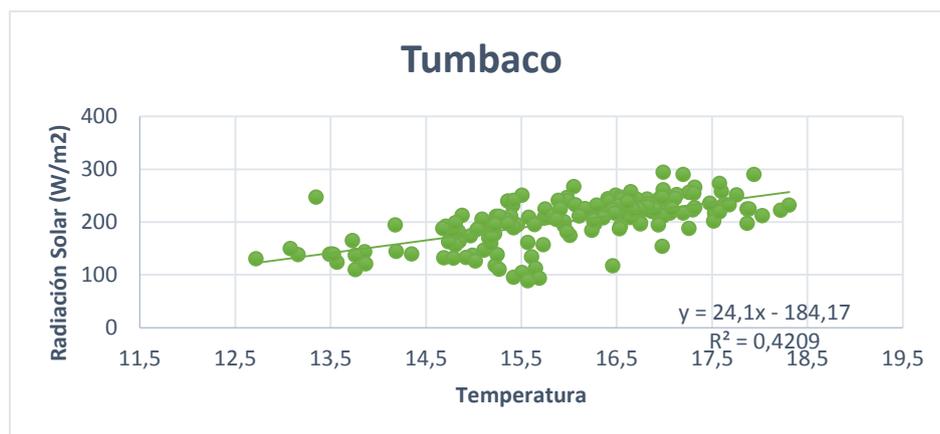


Figura 43. Correlación entre radiación solar y temperatura, zona rural.

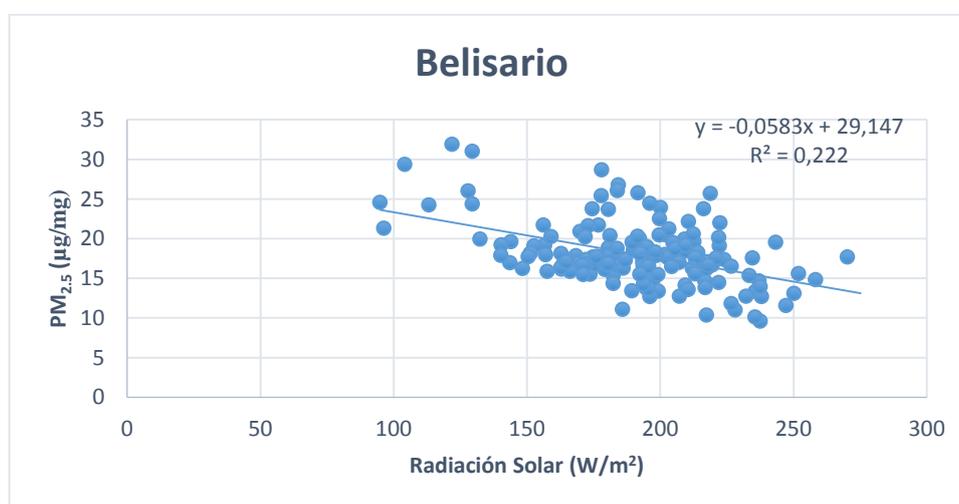


Figura 44. Correlación entre radiación solar y material particulado, zona urbana.

Tabla 17

Estadística de la correlación Radiación Solar vs Temperatura. Zona Urbana.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,0625889
Coeficiente de determinación R ²	0,00391737
R ² ajustado	-0,0021563
Error típico	3,44377668
Observaciones	166

Tabla 18

Análisis de varianza (correlación Radiación Solar vs Temperatura. Zona Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	7,64914897	7,64914897	0,64498	0,423077
Residuos	164	1944,97404	11,8595978		
Total	165	1952,62319			

Tabla 19.

Estadística de la correlación Radiación Solar vs Temperatura. Zona Rural.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,64878247
Coeficiente de determinación R ²	0,4209187
R ² ajustado	0,41738771
jError típico	0,8966059
Observaciones	166

Tabla 20

Análisis de Varianza (correlación entre radiación solar vs temperatura. Zona Rural).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	95,8309315	95,8309315	119,207	3,3333E-21
Residuos	164	131,839951	0,80390214		
Total	165	227,670883			

4.2.1.5. Ozono

Al realizar las correlaciones de Ozono con temperatura en las diferentes partes de Quito, se puede definir que la relación entre estos es muy baja. En el norte centro de Quito, Belisario como se puede observar en la tabla 22 la correlación es positiva pero no significativa ($R^2=0,001$), en el sur de Quito, Guamani de igual forma en la tabla 26, muestra una correlación positiva pero no significativa ($R^2=0,03$), y en el valle norte rural de Tumbaco (tabla 24) presenta una correlación negativa no significativa ($R^2=0,009$). En las tres estaciones el valor de p-value $> 0,001$.

Al realizar la correlación entre O_3 y radiación solar, para la zona urbana, Belisario (figura 45) ($R^2= 0,21$), muestra una relación positiva significativa, con un p-value $< 0,001$. A diferencia de la zona rural, Tumbaco ($R^2=0,002$) que muestra una correlación positiva pero no significativa (tabla 30). Sin embargo, se sabe que para que exista una producción fotoquímica activa del ozono se necesita radiación solar (Cazorla, 2013), como en la estación Belisario (figura 45) en donde a más radiación solar mayor concentración de ozono. Según, Cazorla, (2013), cuando la intensidad de radiación solar disminuye y hay nubosidad en la superficie, provoca que los niveles de ozono se particionen y generen más cantidad de NO_2 , debido a que no hay radiación que fotolice a dicha molécula.

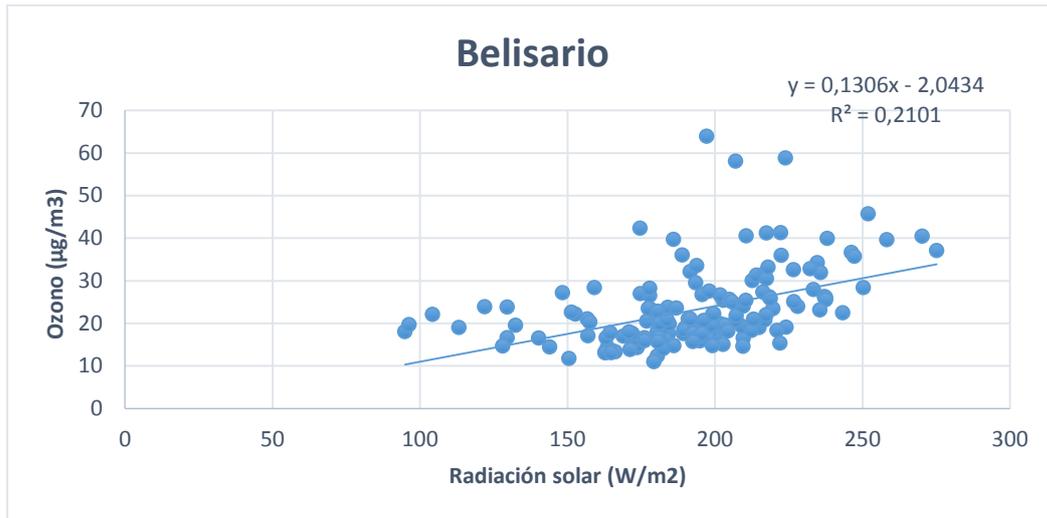


Figura 45. Correlación entre Ozono y Radiación solar, zona urbana.

Tabla 21

Estadística de la correlación Ozono vs Temperatura. Zona Urbana.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,07033651
Coeficiente de determinación R ²	0,00494722
R ² ajustado	-0,00112017
Error típico	3,44199595
Observaciones	166

Tabla 22

Análisis de Varianza (correlación entre Ozono vs Temperatura. Zona Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	9,66006588	9,66006588	0,81538	0,3678592
Residuos	164	1942,96312	11,8473361		
Total	165	1952,62319			

Tabla 23

Estadística de la correlación Ozono vs Temperatura. Zona Rural.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,09868981
Coeficiente de determinación R ²	0,00973968
R ² ajustado	0,00370151
Error típico	1,17248288
Observaciones	166

Tabla 24

Análisis de Varianza (correlación entre Ozono vs Temperatura. Zona Rural).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	2,21744138	2,21744138	1,61302	0,205867
Residuos	164	225,453441	1,3747161		
Total	165	227,670883			

Tabla 25

Estadística de la correlación Ozono vs Temperatura. Zona Semi urbana.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,07897488
Coeficiente de determinación R ²	0,00623703
R ² ajustado	-0,00091234
Error típico	0,63999232
Observaciones	141

Tabla 26

Análisis de Varianza (correlación entre Ozono vs Temperatura. Zona Semi Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	0,35732179	0,35732179	0,87239	0,3519146
Residuos	139	56,9330328	0,40959016		
Total	140	57,2903546			

Tabla 27

Estadística de la correlación Ozono vs Radiación Solar. Zona Urbana.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,36455735
Coeficiente de determinación R ²	0,13290206
R ² ajustado	0,12761488
Error típico	32,7813877
Observaciones	166

Tabla 28

Análisis de Varianza (correlación entre Ozono vs Radiación Solar. Zona Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	27012,3328	27012,3328	25,137	1,3741E-06
Residuos	164	176237,578	1074,61938		
Total	165	203249,911			

Tabla 29

Estadística de la correlación Ozono vs Radiación Solar. Zona Rural.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,04436124
Coeficiente de determinación R ²	0,00196792
R ² ajustado	-0,00411764
Error típico	43,7236903
Observaciones	166

Tabla 30

Análisis de Varianza (correlación Ozono vs Radiación Solar. Zona Rural).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	618,216054	618,216054	0,323376	0,57036
Residuos	164	313528,82	1911,76109		
Total	165	314147,036			

4.2.1.6. PM₁₀

La relación entre material particulado grueso (PM₁₀) y temperatura para el valle norte rural de Tumbaco (figura 46) ($R^2=0,2$), es positiva pero insignificante (tabla 32). De la misma forma, para Guamani (tabla 34), pues para los dos casos $p\text{-value} > 0,001$. Sin embargo, esto indica que mientras mayor sea la temperatura, el PM₁₀ va a ser mayor, al no haber lluvias se concentra ese material particulado, el mismo que atrapa la radiación solar aumentando así la temperatura (Córdoba & Emilio, 2014). La principal razón de esta correlación positiva es que el PM₁₀ son partículas más grandes, como polvo. Las mismas que se suspenden en el aire durante los días secos y ventosos, como resultado

de radiación solar de alto nivel. En Quito al estar a mayor altura, durante los días con más sol, la temperatura es más alta.

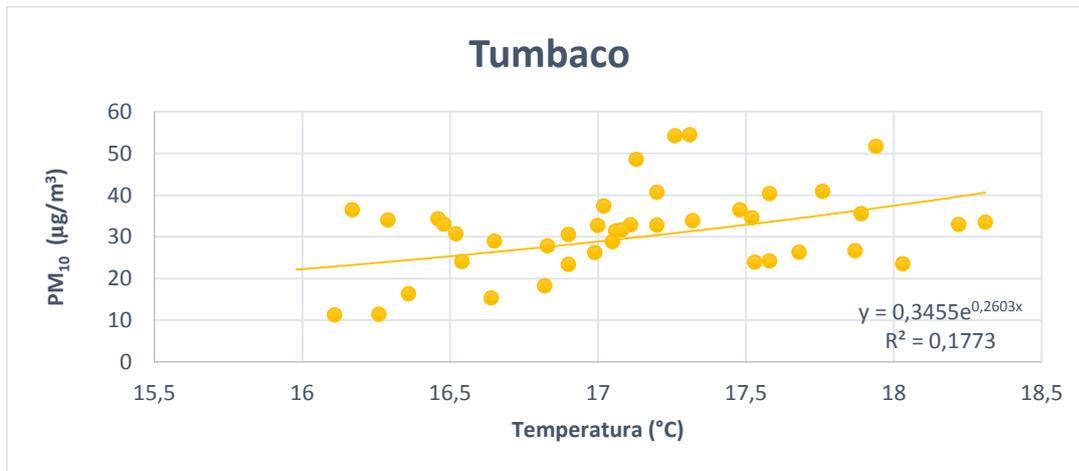


Figura 46. Correlación entre PM10 y temperatura, zona rural.

Tabla 31

Estadística de la correlación PM₁₀ vs Temperatura. Zona Rural.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,37254215
Coeficiente de determinación R ²	0,13878765
R ² ajustado	0,11670529
Error típico	0,54067804
Observaciones	41

Tabla 32

Análisis de Varianza (correlación entre PM_{10} vs Temperatura. Zona Rural).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	1,8373109	1,8373109	6,284999	0,0164525
Residuos	39	11,4009769	0,29233274		
Total	40	13,2382878			

Tabla 33

Estadística de la correlación PM_{10} vs Temperatura. Zona Semi urbana.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,24507424
Coeficiente de determinación R^2	0,06006138
R^2 ajustado	0,03465764
Error típico	0,54043031
Observaciones	39

Tabla 34

Análisis de Varianza (correlación entre PM_{10} vs temperatura. Zona Semi Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	0,6905211	0,6905211	2,36427	0,132651
Residuos	37	10,806402	0,29206492		
Total	38	11,4969231			

4.2.1.7. Monóxido de Carbono.

La correlación de monóxido de carbono con temperatura ($R^2=0,2$) en la zona urbana es negativa e insignificante como se puede apreciar en la tabla 36, p-value $> 0,001$. De manera similar en la zona “semi urbana” al sur de Quito, Guamani la correlación ($R^2= 0,004$) entre estos dos parámetros es positiva pero no significativa (tabla 38).

La principal fuente de emisión del CO son los automóviles y las industrias, por lo que en la ciudad el valor es un poco más elevado.

Según Romero, et al. (2004), en la primavera, el otoño y el verano se da la mayor turbulencia de concentración de CO, a diferencia de en invierno en donde las concentraciones no disminuyen mucho. Lo que significa que la turbulencia en clima tiempo más caliente diluye o ventila el CO, como se observa claramente en Belisario. Se puede esperar este comportamiento para la mayoría de los gases.

Tabla 35

Estadística de correlación CO vs Temperatura. Zona Urbana.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,1360071
Coeficiente de determinación R^2	0,01849793
R^2 ajustado	0,01251316
Error típico	3,41847893
Observaciones	166

Tabla 36

Análisis de Varianza (correlación entre CO vs temperatura. Zona Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	36,1194879	36,1194879	3,090835	0,0805999
Residuos	164	1916,5037	11,6859982		
Total	165	1952,62319			

Tabla 37

Estadística de la correlación CO vs Temperatura. Zona Semi Urbana.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,07381706
Coeficiente de determinación R ²	0,00544896
R ² ajustado	-0,00170609
Error típico	0,64024603
Observaciones	141

Tabla 38

Análisis de Varianza (correlación entre CO vs Temperatura. Zona Semi Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	0,31217275	0,31217275	0,761555	0,384347
Residuos	139	56,9781819	0,40991498		
Total	140	57,2903546			

4.2.1.8. Óxidos de Nitrógeno

La relación de los NO_x con temperatura es significativa en las zonas urbanas (figura 47) ($R^2=0,4$), siendo muy diferente a la zona “semi urbana” ($R^2=0,02$). Esto se lo evidencia claramente en la tabla 42 para Guamani porque p-value > 0,001, lo contrario de Belisario donde p-value < 0,001 (tabla 40).

Los niveles más altos de NO_x se los puede observar en las aglomeraciones urbanas y en las zonas metropolitanas. Así, como en las vías que tienen tráfico más denso, siendo el 75% del NO_2 , aportado por el tráfico (Prats et al., 2005). Como se mostró en CO se tiene el mismo comportamiento, para las zonas urbanas a mayor temperatura existe una mayor ventilación, a diferencia de Guamani en donde no se da este comportamiento.

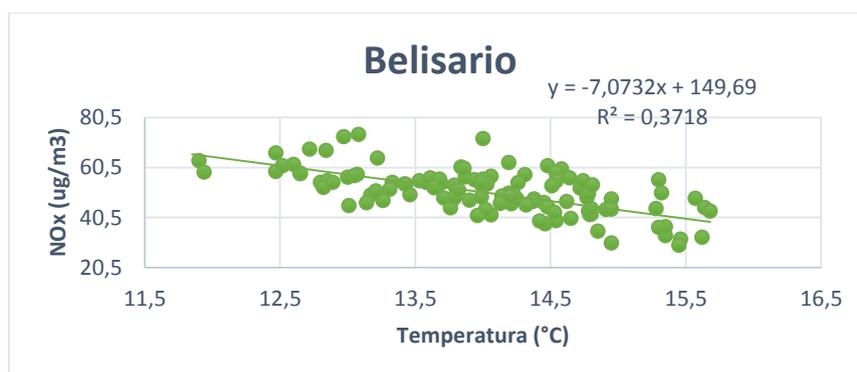


Figura 47. Correlación entre óxidos de nitrógeno y temperatura, zona urbana.

Tabla 39

Estadística de la correlación NO_x vs Temperatura. Zona Urbana.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,60975541
Coefficiente de determinación R^2	0,37180166
R^2 ajustado	0,36609077
Error típico	0,68604473
Observaciones	112

Tabla 40

Análisis de Varianza (correlación entre NO_x vs temperatura. Zona Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	30,6416458	30,6416458	65,104	9,6405E-13
Residuos	110	51,7723104	0,47065737		
Total	111	82,4139563			

Tabla 41

Estadística de la correlación NO_x vs Temperatura. Zona Semi Urbana.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,07381706
Coeficiente de determinación R ²	0,00544896
R ² ajustado	-0,00170609
Error típico	0,64024603
Observaciones	141

Tabla 42

Análisis de Varianza (correlación entre NO_x vs Temperatura. Zona Semi Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	0,31217275	0,31217275	0,76156	0,38435
Residuos	139	56,9781819	0,40991498		
Total	140	57,2903546			

4.2.2. Precipitación

4.2.2.1. Material Particulado 2.5

La precipitación forma un mecanismo significativo en cuanto a remoción de contaminantes. En este caso la lluvia recoge el material que se encuentra en toda la columna de contaminación atmosférica, en mayor porcentaje al material de mayor tamaño (Magrin, G.O., J.A. Marengo, J.-P. Boulanger, M.S. Buckeridge, E. Castellanos, G. Poveda, F.R. Scarano, 2014).

No se demuestra una correlación fuerte entre estas dos variables. Sin embargo, cuando hay eventos de precipitación fuertes como se ve en la de los máximos, se evidencia una mayor correlación con $PM_{2.5}$, como se lo puede notar en la tabla 44. Si la correlación se la realiza entre acumulación anual y $PM_{2.5}$, esta es positiva pero no significativa con un p-value mucho mayor a 0,001 (tabla 46).

Tabla 43

Estadística de la correlación $PM_{2.5}$ vs Precipitación (máximos). Zona Urbana.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,43494054
Coeficiente de determinación R^2	0,18917327
R^2 ajustado	0,09908141
Error típico	54,9869471
Observaciones	11

Tabla 44

Análisis de Varianza (correlación entre $PM_{2,5}$ vs Precipitación (máximos). Zona Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	6348,8263	6348,8263	2,0998	0,18125
Residuos	9	27212,0792	3023,56435		
Total	10	33560,9055			

Tabla 45

Estadística de la correlación $PM_{2,5}$ vs Precipitación (suma). Zona Urbana.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,03626154
Coeficiente de determinación R^2	0,0013149
R^2 ajustado	-0,10965011
Error típico	238,161135
Observaciones	11

Tabla 46

Análisis de Varianza (correlación entre $PM_{2,5}$ vs Precipitación (suma). Zona Urbana).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	672,122222	672,122222	0,01185	0,915705
Residuos	9	510486,538	56720,7264		
Total	10	511158,66			

4.2.2.2. PM₁₀

Se observa en la figura 48, una correlación negativa significativa entre PM₁₀ y precipitación ($R^2=0,3$) en la zona rural, como se ve en la tabla 48, p-value < 0,001. Para la zona semi urbana igual se da una correlación negativa significativa ($R^2= 0,31$) (figura 49), como lo muestra la tabla 50.

Anteriormente se mencionó que la lluvia ayuda a eliminar o limpiar el material particulado de mayor tamaño.

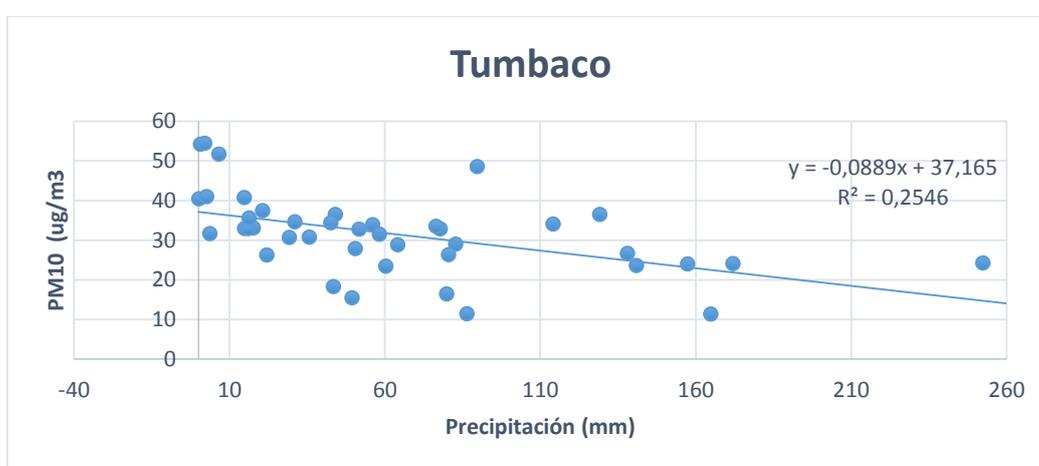


Figura 48. Correlación entre PM₁₀ y precipitación, zona rural

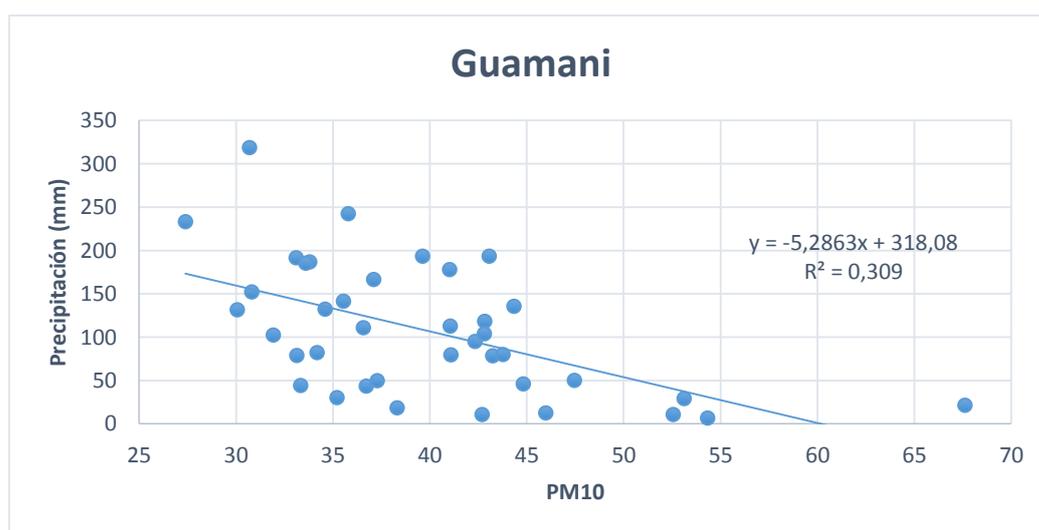


Figura 49. Correlación entre PM₁₀ y precipitación, zona semi urbana.

Tabla 47

Estadística de la correlación PM₁₀ vs Precipitación. Zona Rural.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,50459323
Coeficiente de determinación R ²	0,25461432
R ² ajustado	0,23550187
Error típico	49,7321808
Observaciones	41

Tabla 48

Análisis de Varianza (correlación entre PM₁₀ vs Precipitación. Zona Rural).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	32948,9369	32948,9369	13,3219	0,000438
Residuos	39	96458,3026	2473,28981		
Total	40	129407,24			

Tabla 49

Estadística de la correlación PM₁₀ vs Precipitación. Zona Semi rural.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,55588774
Coeficiente de determinación R ²	0,30901118
R ² ajustado	0,29033581
Error típico	63,3071449
Observaciones	39

Tabla 50

Análisis de Varianza (correlación entre PM_{10} vs Precipitación. Zona Semi rural).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	66314,7837	66314,7837	16,54645	0,000239
Residuos	37	148288,4	4007,79459		
Total	38	214603,184			

4.2.2.3. Radiación Solar

Como se puede ver claramente a menor precipitación mayor radiación solar. La relación entre radiación solar y precipitación no es muy fuerte, sin embargo, en la zona urbana (figura 50), se da una correlación negativa significativa como se puede determinar en la tabla 52. En contraste con la zona rural la cual tiene una correlación positiva no significativa con un $p\text{-value} > 0,001$ (tabla 54).

La precipitación para la zona norte centro de Quito es más intensa y corta (figura 27), es por eso que correlaciona mejor con radiación solar a comparación de Tumbaco. Porque en el norte centro de Quito se da lluvias fuertes y corta, entonces, el cielo se despeja entrando más radiación solar y así sigue sucesivamente.

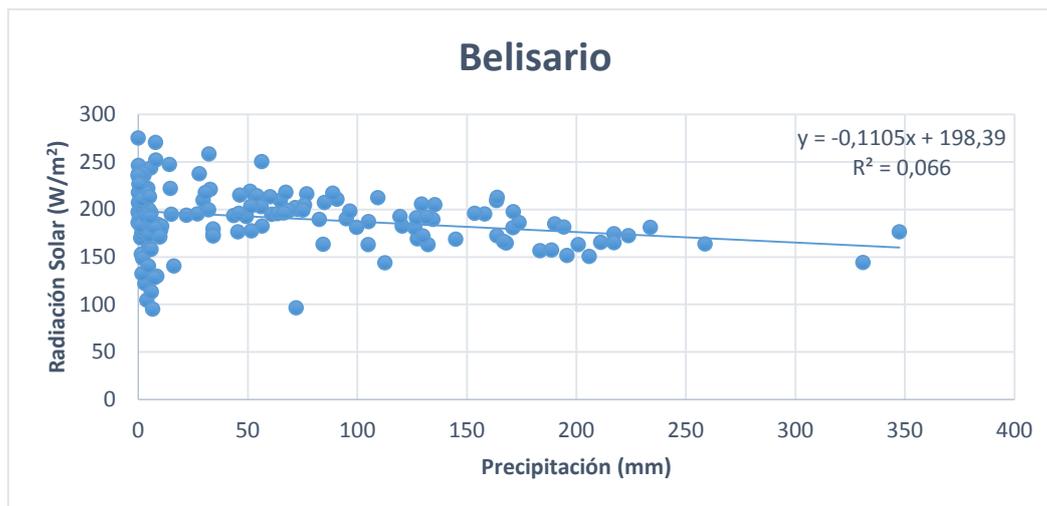


Figura 50. Correlación entre radiación solar y precipitación, zona urbana.

Tabla 51

Estadística de la correlación Radiación Solar vs Precipitación. Zona Urbana.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,20377437
Coefficiente de determinación R ²	0,041524
R ² ajustado	0,03567963
Error típico	72,7254305
Observaciones	166

Tabla 52

Análisis de Varianza (correlación de Radiación Solar vs Precipitación. Zona Urbana).

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	p-value
Regresión	1	37578,0587	37578,0587	7,10497	0,000846
Residuos	164	867394,071	5288,98824		
Total	165	904972,13			

Tabla 53

Estadística de la correlación Radiación Solar vs Precipitación. Zona Rural.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,02906453
Coeficiente de determinación R ²	0,00084475
R ² ajustado	-0,00524766
Error típico	54,4263215
Observaciones	166

Tabla 54

Análisis de Varianza (correlación entre Radiación Solar vs Precipitación. Zona Rural).

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regresión	1	410,729059	410,729059	0,13866	0,71010
Residuos	164	485804,813	2962,22447		
Total	165	486215,542			

4.3. Validación de datos

Se procedió a realizar la validación de datos de temperatura y precipitación entre las estaciones de la Secretaria de Ambiente y las del INAMHI, para asegurarnos que los datos que estamos usando sean confiables.

4.3.1. Temperatura

Los datos entre las estaciones al centro norte de Quito: Belisario e Ñaquito (figura 51) correlacionan muy bien ($R^2 = 0,9$) (figura 52), lo que muestra confiabilidad en los datos, por ende, en los resultados.

Los datos entre las estaciones en el valle norte rural: Tumbaco y La Tola (figura 53) tienen una correlación débil, por lo tanto, sugiriendo algunos problemas en la interpretación de datos, se ha utilizado los datos del INAMHI. Porque como muestra la figura 8, de temperatura con las demás estaciones, siguen el mismo comportamiento y la misma tendencia. Lo más importante es que en los datos de Secretaría de Ambiente se muestra un incremento de temperatura, mientras en los datos de más largo periodo no se muestra ningún incremento en temperatura en Tumbaco. Pero, estas dos estaciones están ubicados casi 4 km de distancia, y en los últimos 14 años las dos estaciones muestran incremento en temperaturas. Que se puede explicar por la urbanización que se ha desarrollado en las últimas décadas.

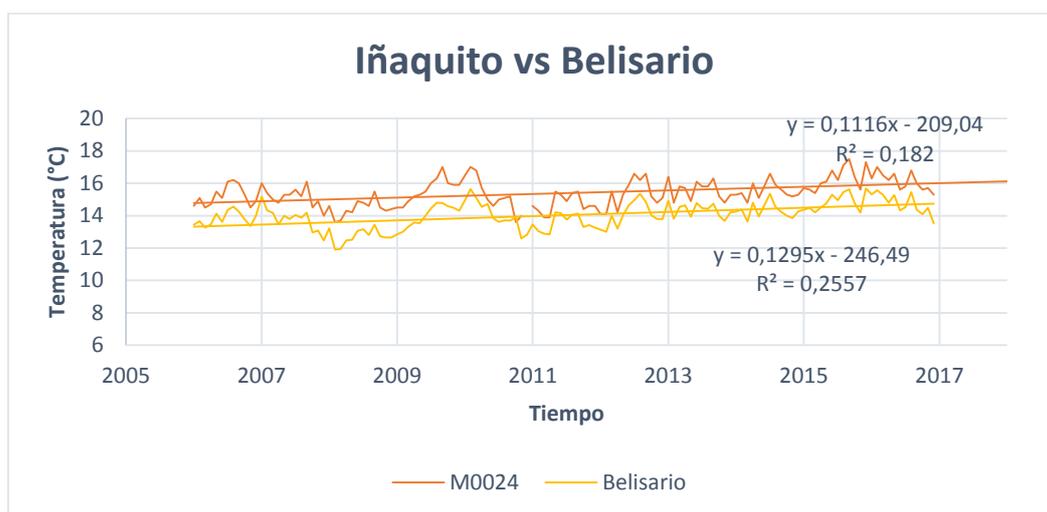


Figura 51. Validación de temperatura entre Iñaquito y Belisario.

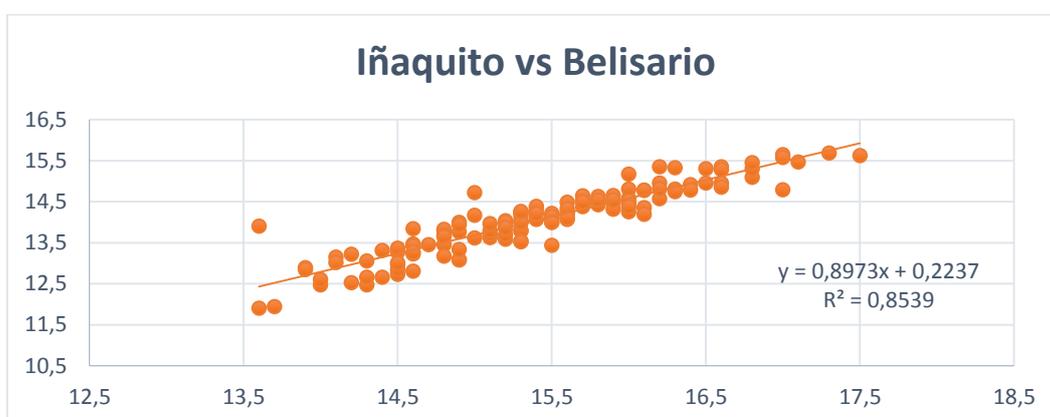


Figura 52. Correlación para validación de temperatura en Iñaquito y Belisario.

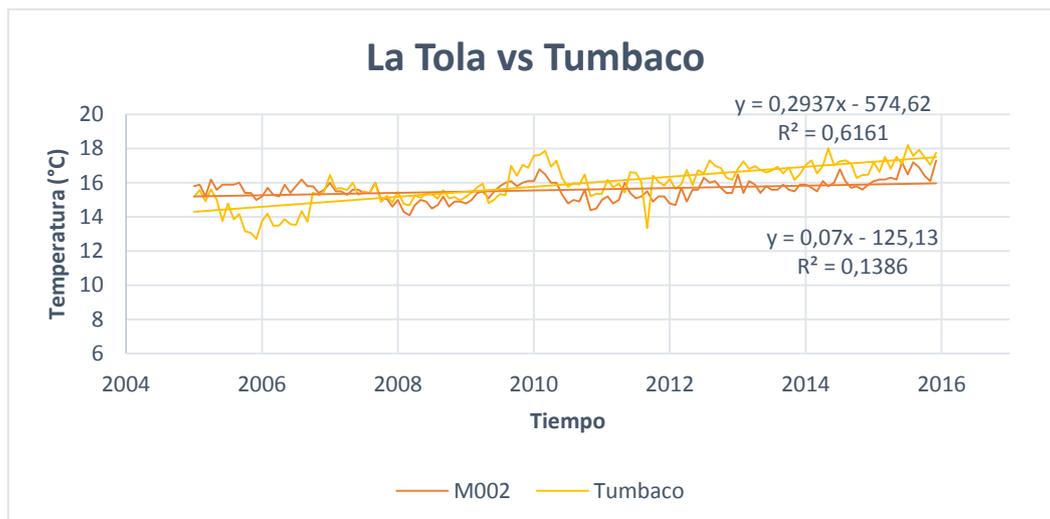


Figura 53. Validación de temperatura en La Tola y Tumbaco.

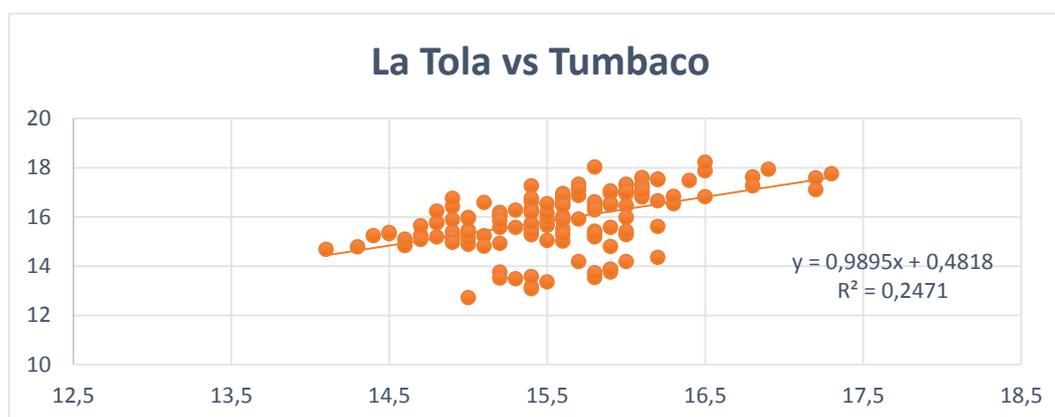


Figura 54. Correlación para validación de temperatura en La Tola y Tumbaco.

4.3.2. Precipitación

Las estaciones al norte centro de Quito: Belisario e Iñaquito (figura 55) muestran una correlación fuerte ($R^2=0,5$) (figura 56), que también da confianza a los datos.

Para las estaciones en el valle norte rural: La Tola y Tumbaco (figura 57) la correlación es un poco menor ($R^2=0,4$) (figura 58).

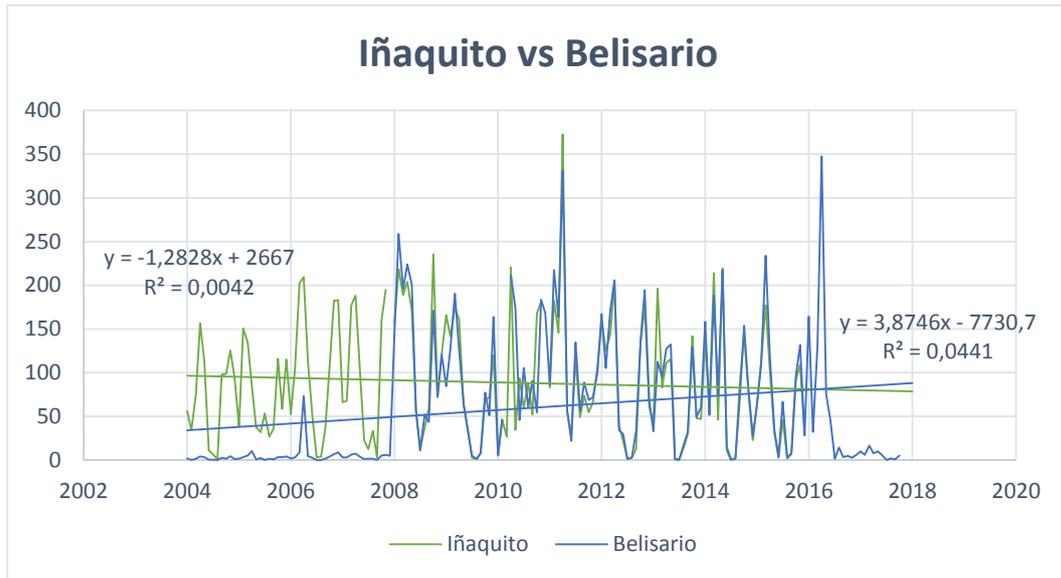


Figura 55. Validación de precipitación en Belisario e Iñaquito.

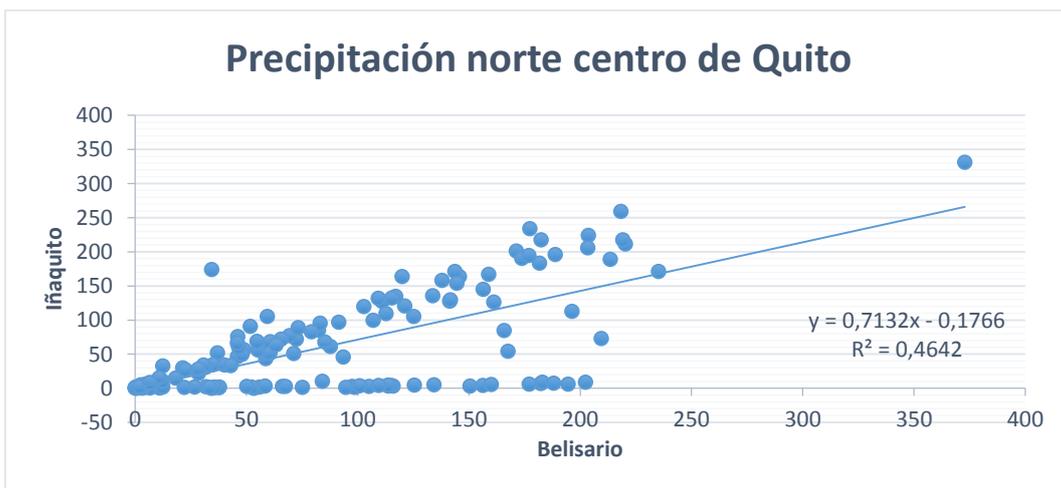


Figura 56. Correlación para validación de la precipitación en Belisario e Iñaquito.

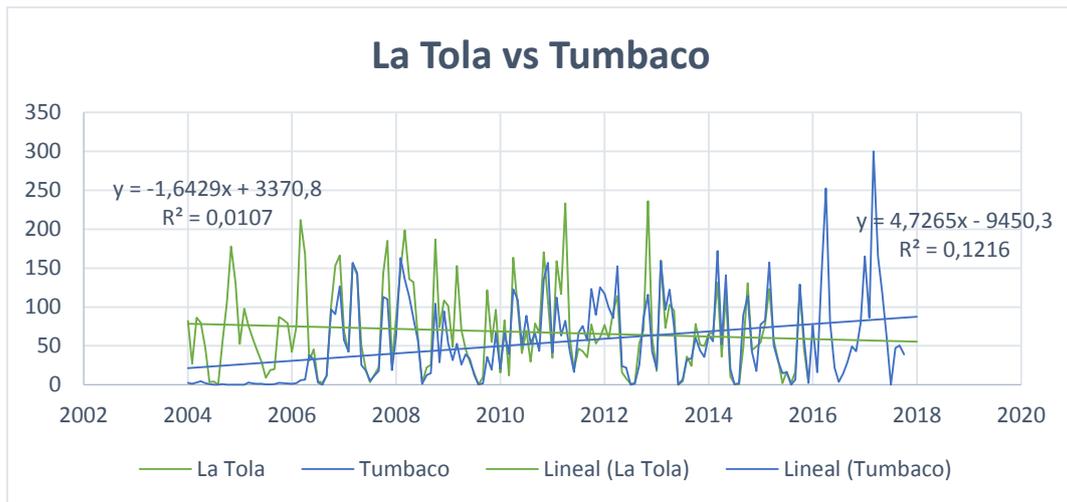


Figura 57. Validación de precipitación en La Tola y Tumbaco.

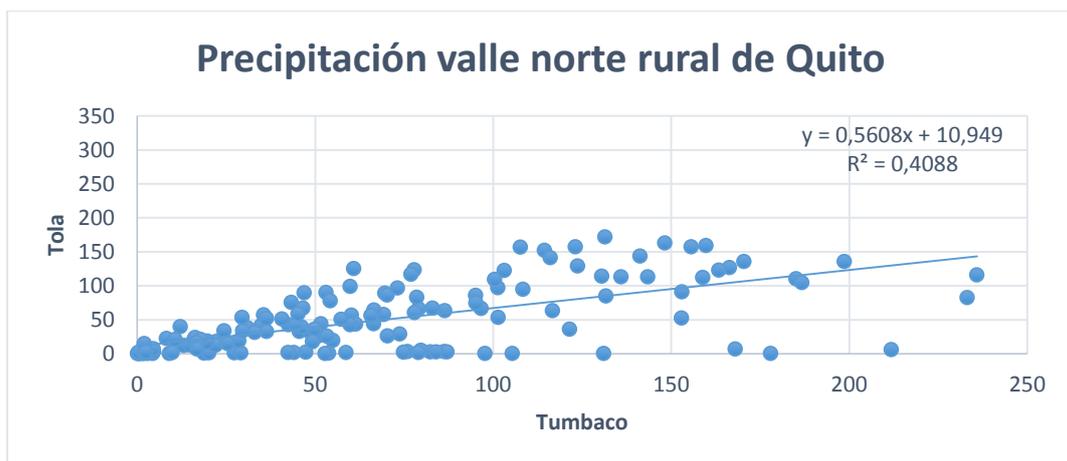


Figura 58. Correlación para validación de precipitación para La Tola y Tumbaco.

Se puede ver que las correlaciones en todos los casos no son perfectas hay un pequeño porcentaje de error en la “ R^2 ”, la razón de esto es porque los sitios no son exactamente los mismos tienen unos kilómetros de distancia entre ellos y son varios los factores que pueden influir en esto. Debido al extremadamente complejo terreno en la región de los Andes. Los lugares de estudio están ubicados donde existen muchos microclimas.

4.4. Modelamiento

Para realizar el modelo se comprobó que las series de tiempo sean estacionarias, de lo contrario no se puede realizar la predicción, en todas las estaciones el p-value < 0,05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que dice que existen raíces unitarias y se acepta la hipótesis alternativa que confirma que son series de tiempo estacionarias.

B= Belisario, I= Iñaquito, G= Guamaní y La Tola= To.

```
Augmented Dickey-Fuller Test
```

```
data: B
Dickey-Fuller = -3.675, Lag order = 5, p-value = 0.02895
alternative hypothesis: stationary
```

```
Augmented Dickey-Fuller Test
```

```
data: I
Dickey-Fuller = -5.5331, Lag order = 7, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary
```

```
warning message:
In adf.test(I) : p-value smaller than printed p-value
```

```
Augmented Dickey-Fuller Test
```

```
data: G
Dickey-Fuller = -5.6578, Lag order = 8, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary
```

```
warning message:
In adf.test(G) : p-value smaller than printed p-value
```

```
Augmented Dickey-Fuller Test
```

```
data: To
Dickey-Fuller = -4.4183, Lag order = 7, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary
```

```
warning message:
In adf.test(To) : p-value smaller than printed p-value
```

A continuación, se observa los gráficos de la función de autocorrelación simple (ACF) y la función de autocorrelación parcial (PACF) Las mismas que conjuntamente nos ayudan a identificar modelos ARIMA, mediante la identificación del orden de los desfases. El ACF de Belisario muestra unos

picos fuertes en el desfase 0, 1 y 3 lo que significa que en esos puntos hay una correlación significativa que comienza a disminuir luego de unos pocos desfases. Y el orden de PACF está en el desfase 0 (figura 59). De igual forma se pueden determinar los picos de desfase de Ñaquito para el ACF y PACF (figura 60), Guamaní (figura 61) y La Tola (figura 62).

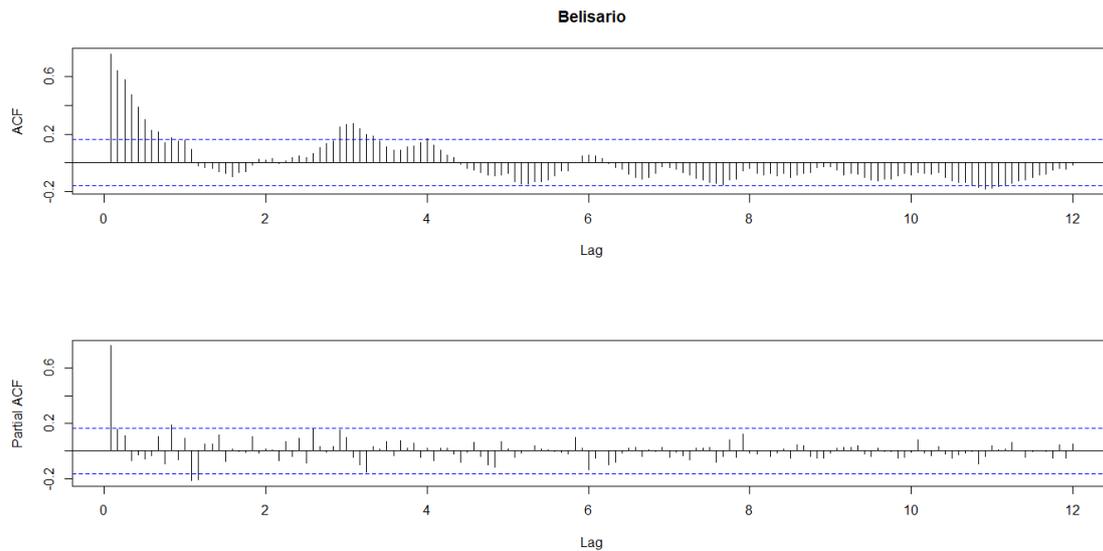


Figura 59. ACF y PACF de Belisario.

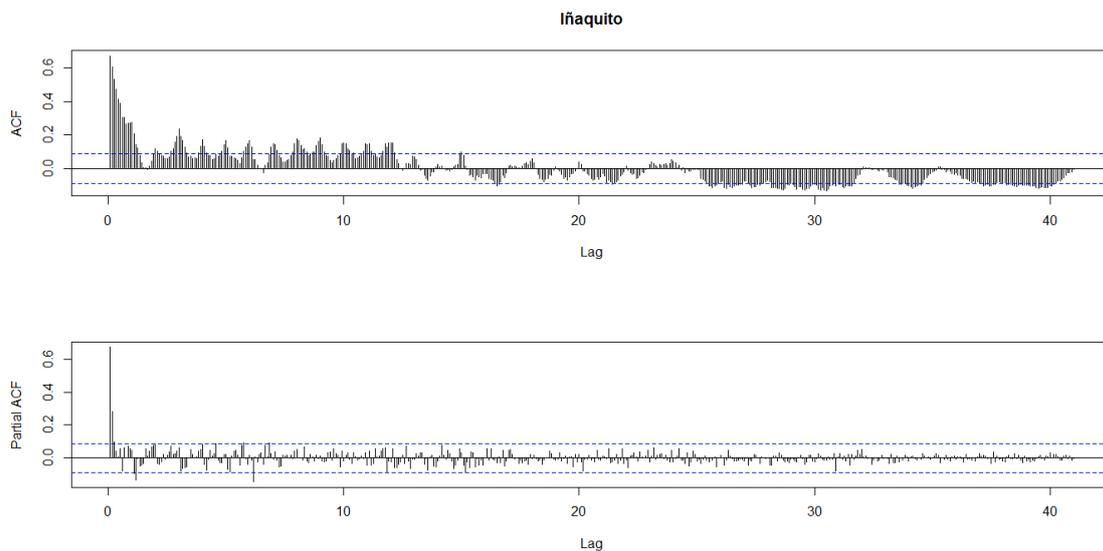


Figura 60. ACF y PACF de Ñaquito

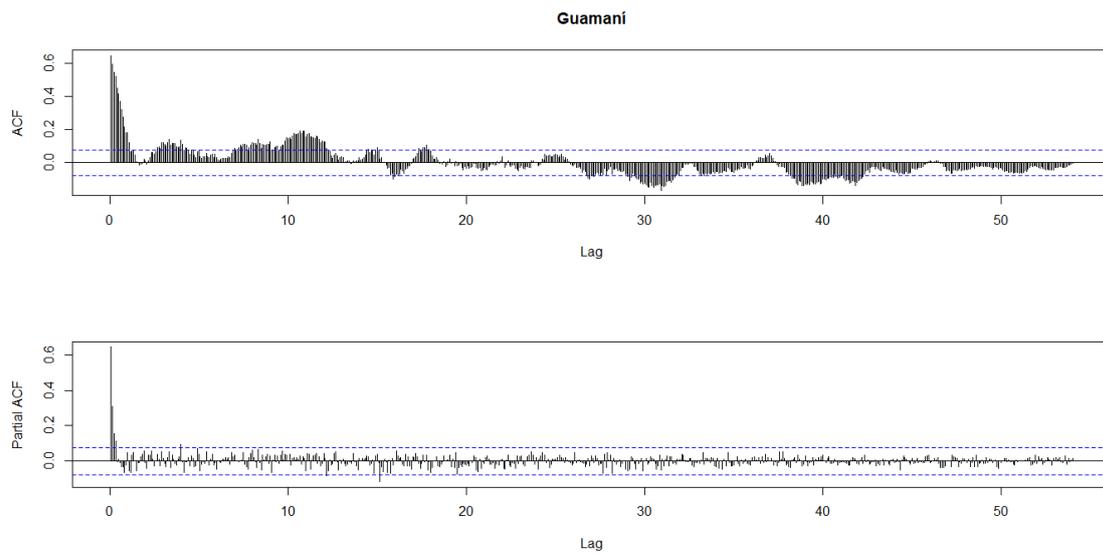


Figura 61. ACF y PACF de Guamaní.

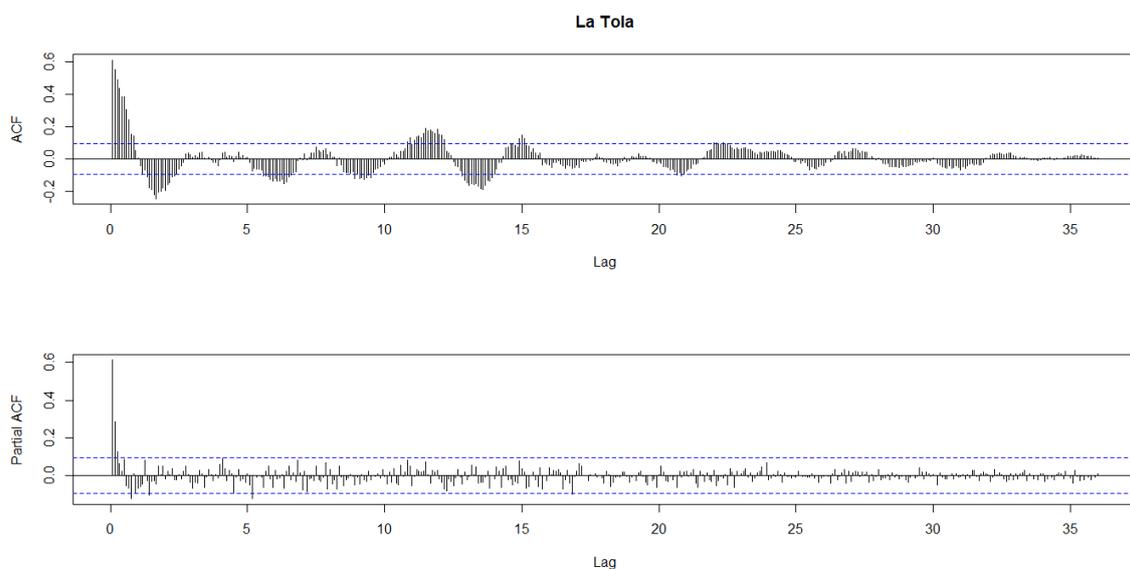


Figura 62. ACF y PACF de La Tola.

Posteriormente, luego de realizar varias pruebas se eligió el mejor modelo de predicción para cada serie de tiempo. Para esto se muestra el ACF de los residuos de cada modelo, en todos los casos tienen un comportamiento autorregresivo que se debe modelar mediante un proceso ARIMA. Es decir, los residuos no son ruido blanco, estos evidencian periodos de crecimiento y decrecimiento que también indican la existencia de autocorrelación. Hay algunas autocorrelaciones que a pesar de hacer todos los intentos cambiando

los valores de las órdenes igual se salen de las bandas como en el caso de Guamaní (figura 69) y la Tola (figura 72), por lo que es probable que el modelo no sea tan robusto, sin embargo, se eligió el modelo que menor error presentó. Y, los mejores resultados de ACF de residuos que aseguran un modelo con menor probabilidad de error fueron para Belisario (figura 63) y para Ñaquito (figura 66).

A continuación, se puede observar los modelos escogidos y las gráficas de las predicciones hasta el 2020:

Belisario (figura 64):

- Modelo: ARIMA (2,0,2) (2,2,2)

Ñaquito (figura 67):

- Modelo: ARIMA (1,0,2) (1,2,1)

Guamaní (figura 70):

- Modelo: ARIMA (0,0,1) (0,2,0)

La Tola (figura 73):

- Modelo: ARIMA (3,0,2) (1,2,1)

Finalmente, para comprobar que el modelo esté correcto se corrió de nuevo todo lo anterior, pero con las series temporales hasta el año 2012, para ver si el pronóstico concordaba con los datos originales. Como se puede observar para Belisario (figura 65) e Ñaquito (figura 68), los datos pronosticados concuerdan con los datos originales, por lo tanto, se consideró que el modelo es el adecuado. Para el caso de La Tola y principalmente para Guamaní que fueron las estaciones que como se mencionó anteriormente el ACF de los residuos aún muestran irregularidades y se salen de las bandas. Como se puede ver en la figura 71 en Guamaní el pronóstico tiene valores que se encuentran fuera de los datos originales, al igual que para La Tola (figura 74). Por lo tanto, es probable que el pronóstico de esas estaciones no sea el más adecuado.

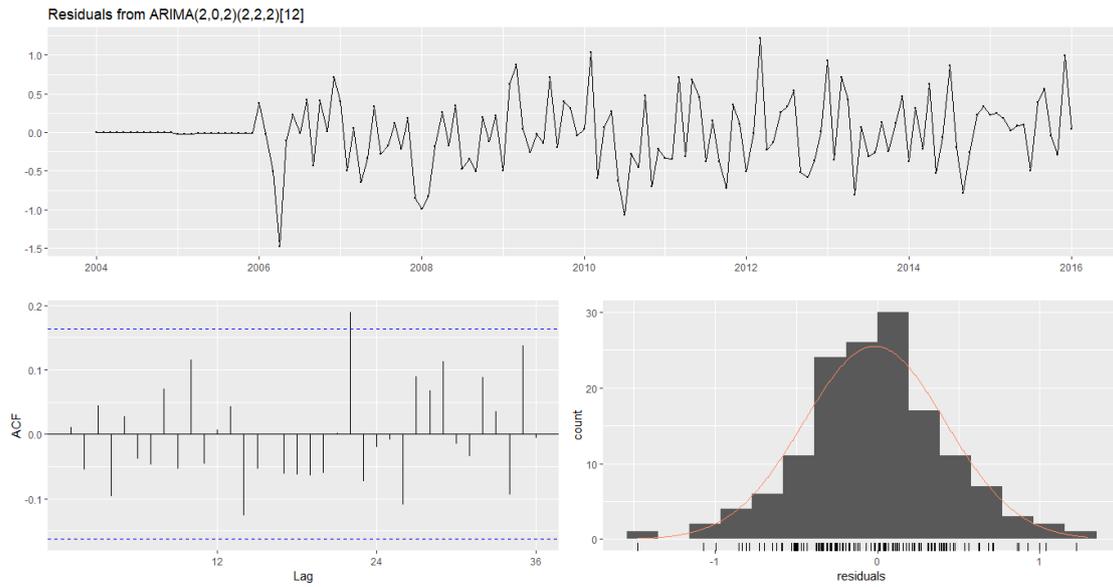


Figura 63. Residuals from ARIMA (2,0,2)(2,2,2)[12], Belisario.

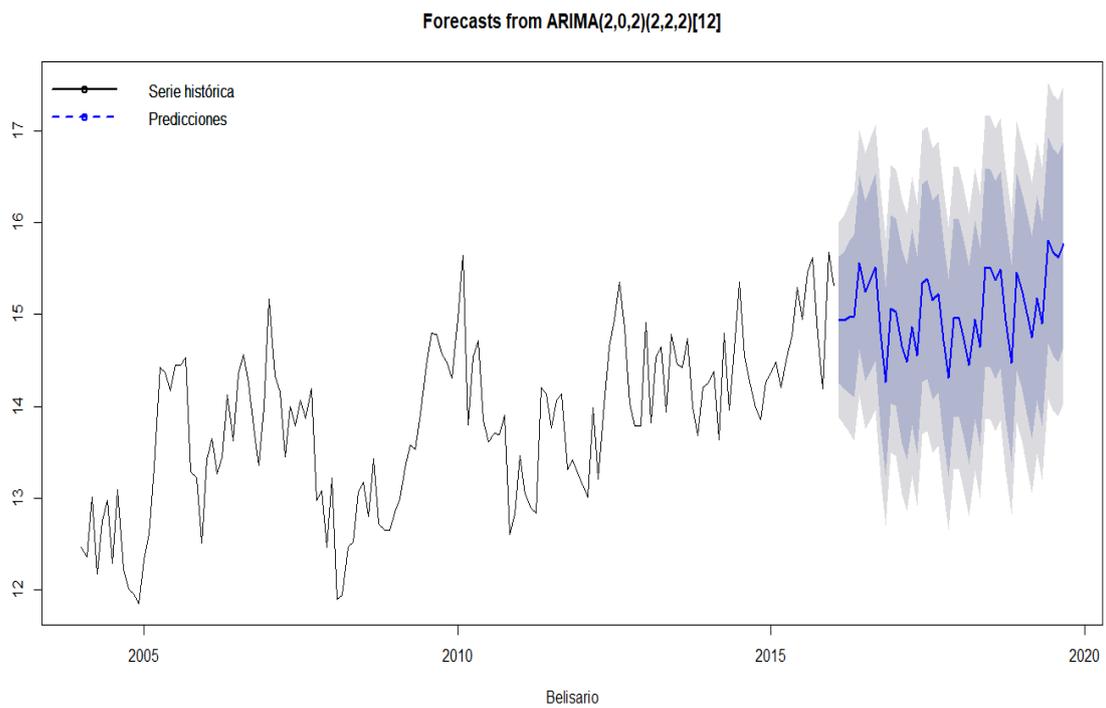


Figura 64. Modelo de Predicción de temperatura para Belisario.

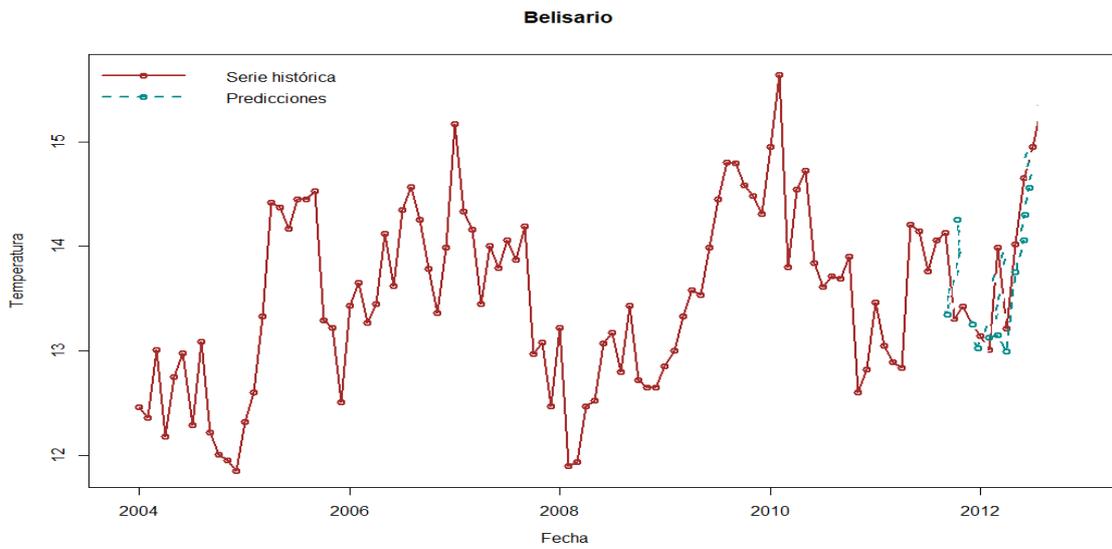


Figura 65. Comprobar pronóstico Belisario.

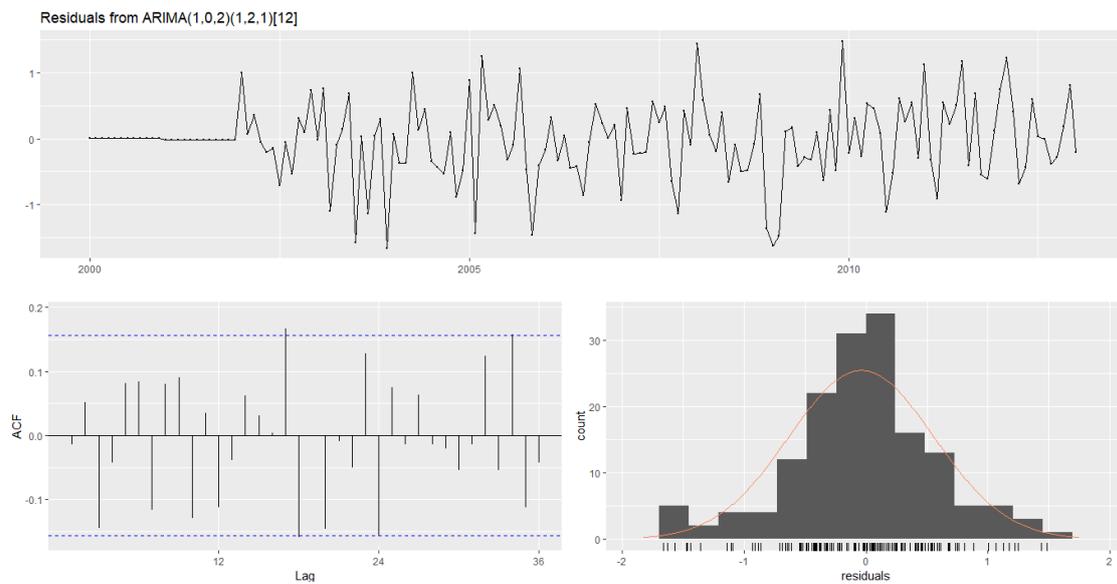


Figura 66. Residuals from ARIMA (1,0,2)(1,2,1)[12], Iñaquito.

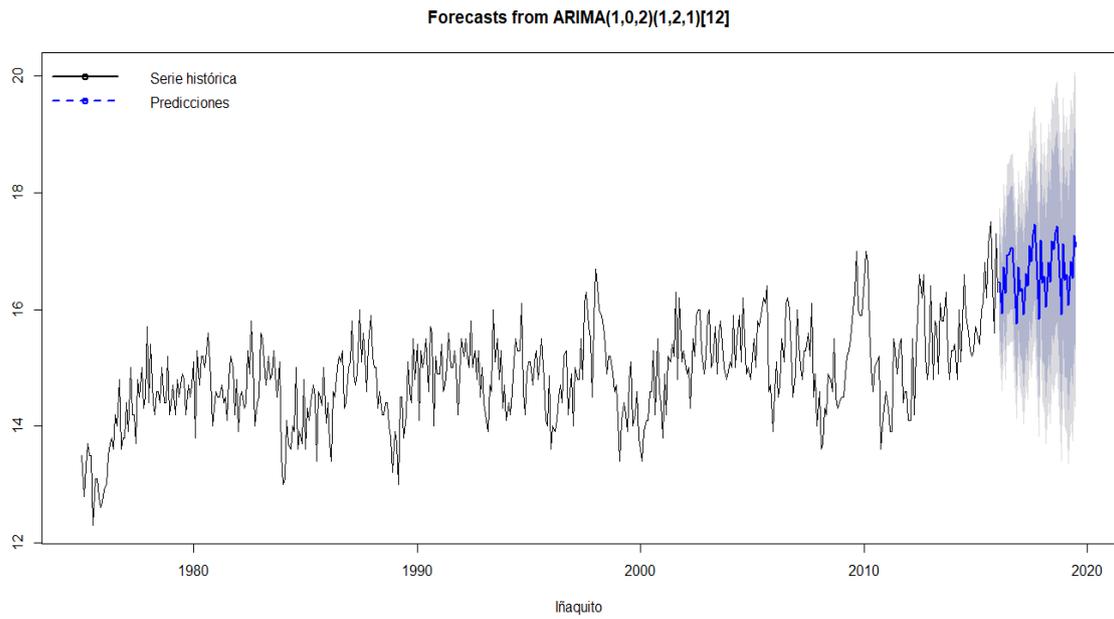


Figura 67. Modelo de predicción de temperatura para Iñaquito.

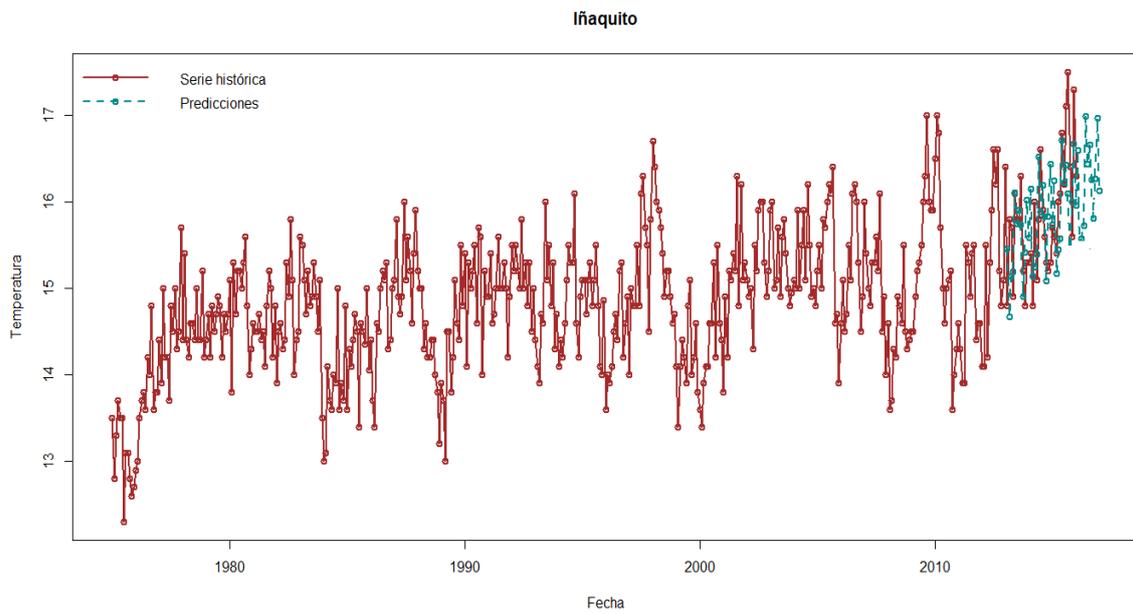


Figura 68. Comprobar pronostico Iñaquito.

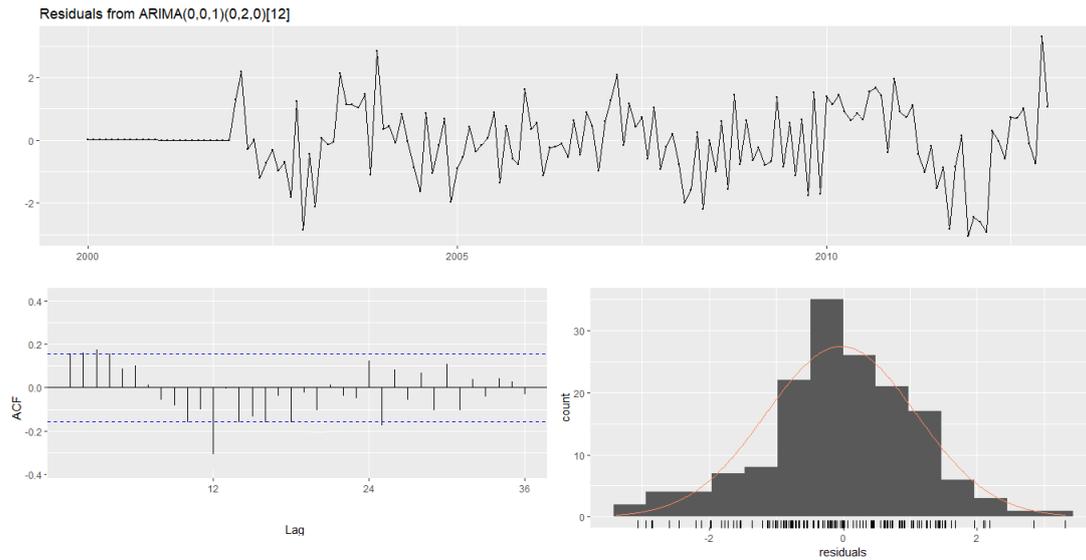


Figura 69. Residuals from ARIMA (0,0,1)(0,2,0)[12], Guamaní.

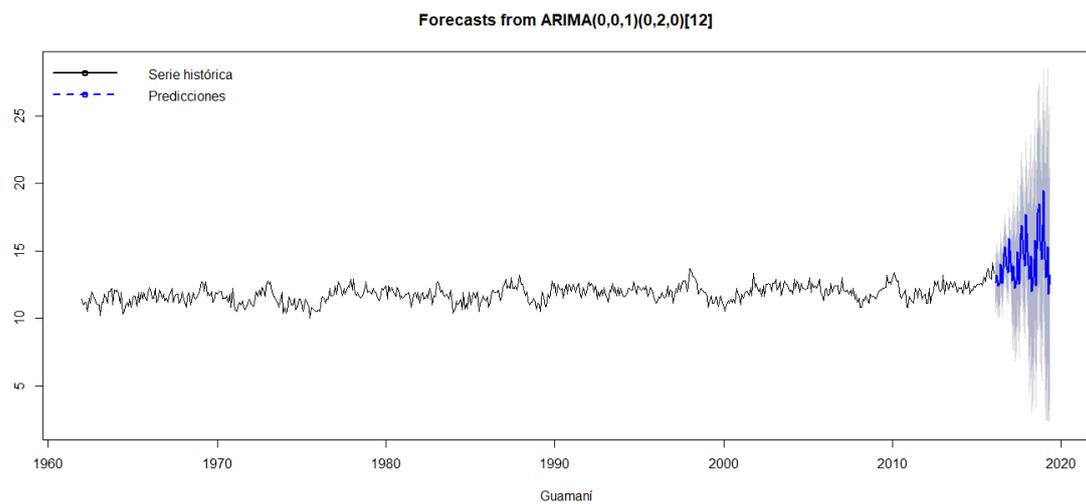


Figura 70. Modelo de predicción de temperatura para Guamaní.

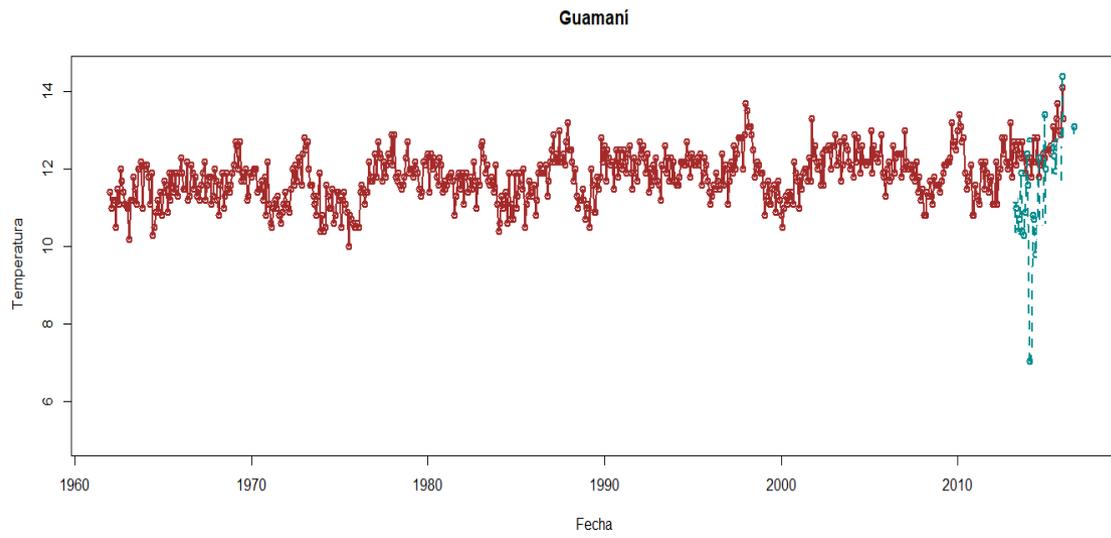


Figura 71. Comprobar pronostico Guamaní.

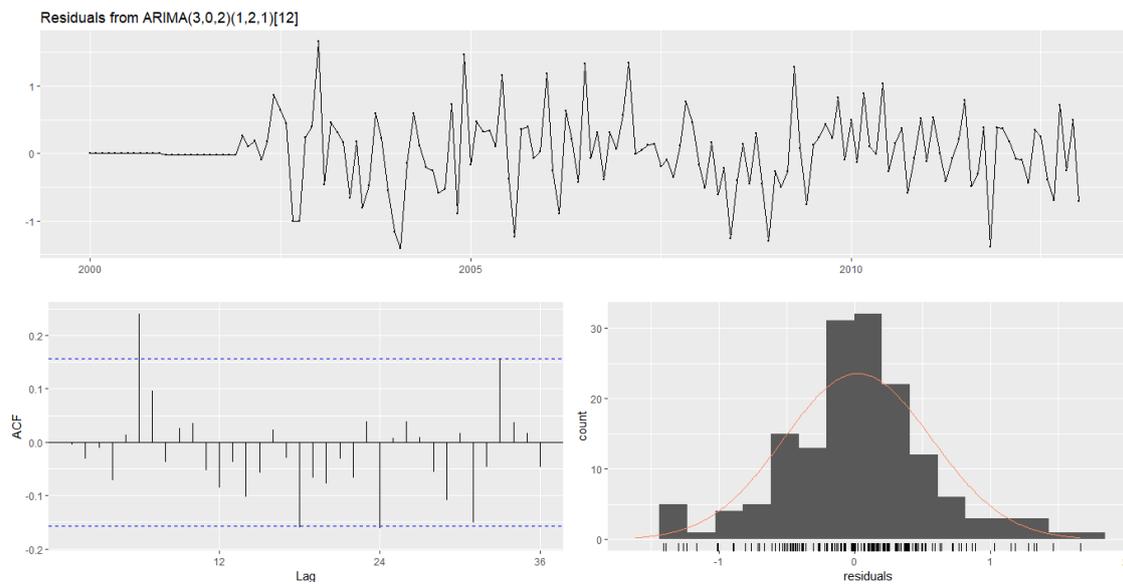


Figura 72. Residuals from ARIMA (3,0,2)(1,2,1)[12], La Tola.

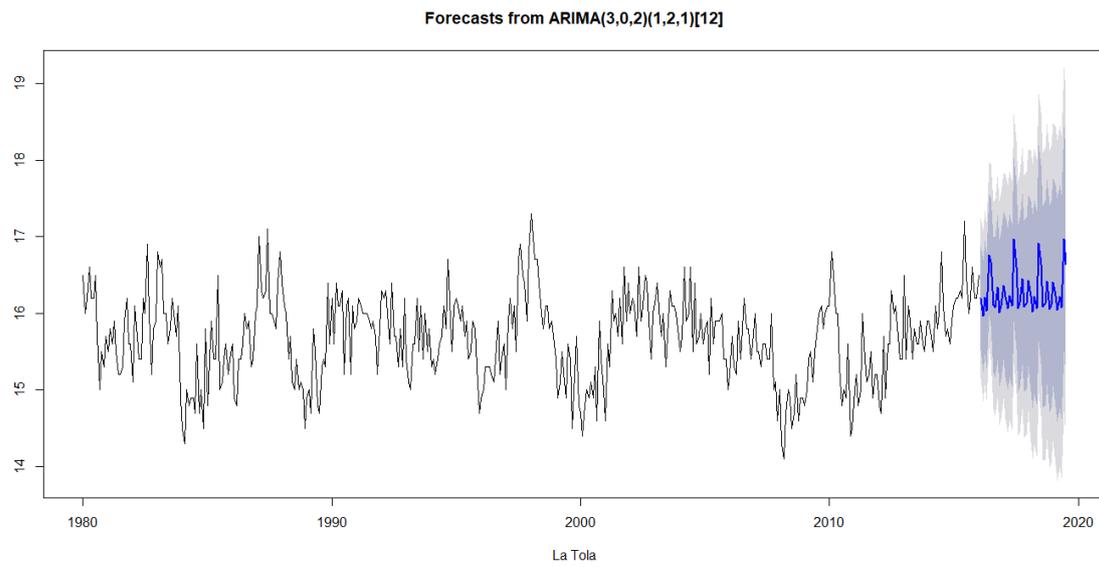


Figura 73. Modelo de predicción de temperatura para La Tola.

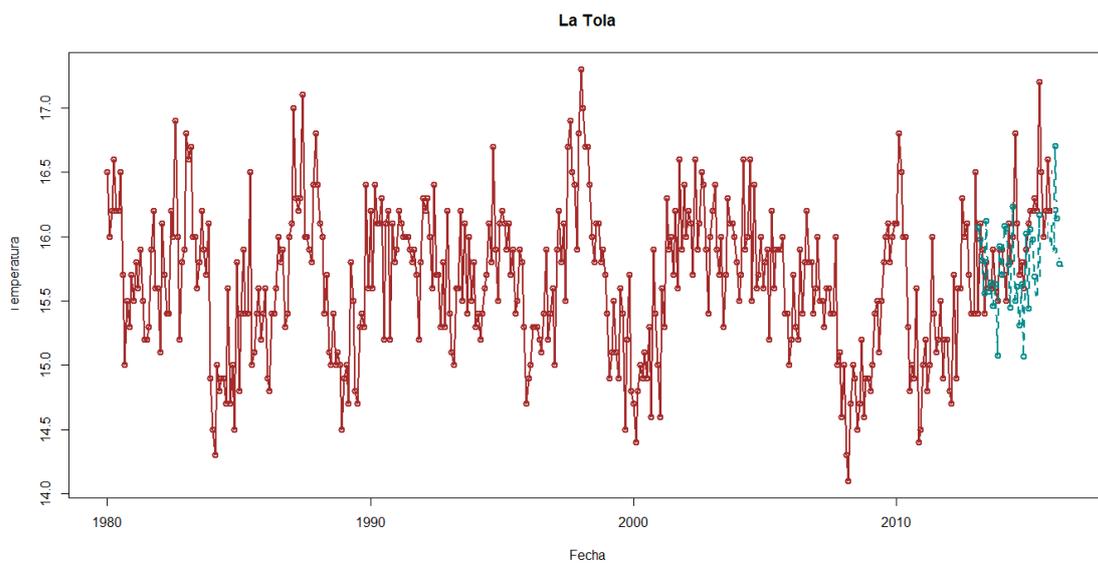


Figura 74. Comprobar predicción La Tola.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se pudo determinar que la mayoría de los sitios estudiados para el análisis comparativo en Ecuador presentan una conducta parecida en cuanto a la variación de temperatura. Con excepción, de los puntos en Orellana y Tumbaco, los demás presentan una tendencia de crecimiento. También, se pudo evidenciar que estamos en una zona que es fuertemente impactada por fluctuaciones de El Niño-Oscilación del Sur. Es por esto, que cada vez que coincide el año de El Niño se puede observar picos de temperatura más fuertes, lo contrario ocurre para los años de La Niña, aquí se presentan temperaturas más bajas. Los sitios más influenciados por este fenómeno son los ubicados en Quito y Galápagos. El punto Orellana es el único que no tiene este comportamiento, puede ser que al estar ubicado tan al oriente y al pasar por los Andes este fenómeno ya no tenga el mismo efecto. Por otro lado, se comprobó que la temperatura global tiene un comportamiento muy parecido a las temperaturas en todas las zonas de Quito. Además, la mejor correlación se dio entre la temperatura global y la temperatura de la zona urbana.

En cuanto a precipitación, el coeficiente de regresión (R^2) en todas las estaciones es bajo, debido a que, la variación de precipitación en estas zonas es muy alta. El comportamiento de precipitación de cada una de las estaciones de estudio es muy diferente. Asimismo, se logró identificar que en los años de El Niño las precipitaciones son de mayor intensidad y más cortas, lo contrario con La Niña. Lo que se pudo confirmar con los datos de radiación solar, pues en los años de El Niño hay picos más grandes, es decir, menor cobertura de nubes, se forman nubes de tormenta (cumulonimbus) y luego otra vez vuelve a salir el sol.

Como se puede ver en los gráficos de tendencia las estaciones Belisario, Ñaquito y Guamaní muestran una tendencia positiva de crecimiento, para Tumbaco se evidencia esto en los últimos 10 años. Según los datos del INAMHI, la temperatura en el centro norte de Quito (zona urbana) ha incrementado 1,7°C en los últimos 41 años, para el sur de Quito (zona semi urbana) ha aumentado 1°C en los últimos 54 años y para el valle norte rural de Quito no se evidencia un crecimiento de temperatura a largo plazo, pero si en los últimos 14 años (urbanización acelerada). Además, está confirmado al compararlos con los datos de la Secretaría de Ambiente del DMQ, para la estación del valle norte rural y para el norte centro de Quito que la temperatura sube 2°C en los últimos 14 años. En Guamani se puede ver el cambio, que es una zona que también se ha ido urbanizando con el paso del tiempo. Por otro lado, al comparar con los datos de la estación del Oriente, esta no muestra una tendencia de crecimiento y se encuentra en una zona rural con fuerte vegetación.

Respecto a los factores externos, la población, los vehículos y la mancha urbana tienen una tendencia de crecimiento, pues estos han aumentado notablemente. Se ha podido reconocer una correlación positiva significativa con más fuerza entre población y temperatura para la zona urbana. Seguido de mancha urbana y número de vehículos que también muestran una correlación significativa en esta zona, no obstante, para la zona rural la relación entre estas variables no es significativa. Estos factores contribuyen a que la temperatura en las ciudades sea mayor a los sitios en las afueras, pudiendo favorecer a la isla de calor urbano, confirmados con los resultados de la estación Tumbaco que presenta el rápido desarrollo urbano en los últimos años.

Referente a los contaminantes atmosféricos analizados, se pudo determinar que la mayoría de estos muestran una tendencia de decrecimiento. Al realizar las diferentes correlaciones los resultados fueron; para O₃ la correlación con temperatura para todas las zonas es no significativa. De igual forma, para

PM₁₀ y CO, no hay una relación fuerte con temperatura. Para NO_x, la relación con temperatura es significativa para la zona urbana. En cuanto, a precipitación la correlación con PM_{2,5}, es no significativa para la zona urbana. También, se realizó la correlación con PM₁₀, la misma que es significativa en la zona rural y semi urbana. De igual forma, la correlación es significativa para radiación solar y precipitación en la zona urbana. Esto sugiere que los contaminantes atmosféricos no son los principales responsables de los cambios, hay otros factores que contribuyen al crecimiento de temperatura y cambios en la precipitación, por ejemplo, los efectos de El Niño y en general cambios globales. De igual manera, existen otros factores externos (regulaciones) que influyen en los cambios de contaminación atmosférica.

Por otro lado, se realizó el modelo de predicción de temperatura para las cuatro zonas de estudio hasta el año 2020. Para Belisario e Iñaquito, las predicciones de temperatura muestran que hasta ese año la temperatura va a seguir con sus variaciones, pero incrementando muestran una tendencia de crecimiento. No así, para La Tola en la cual no se ve que la temperatura vaya a incrementado, más bien está se mantiene en el mismo rango. Sin embargo, el modelo de predicción más confiable es el de Belisario seguido por Iñaquito. Es probable que por la comprobación realizada para Guamaní y la Tola los modelos presenten error.

5.2 Recomendaciones

Este estudio se enfocó en las estaciones de Belisario, Tumbaco y Guamaní, sin embargo, cabe recalcar que estos sitios no son aquellos en los cuales se produjo un mayor crecimiento, como es el caso de Carapungo y el Camal, por lo que es probable que en estos lugares si pueda haber influencia de los contaminantes atmosféricos. Por lo tanto, se recomienda, para próximos estudios tomar en cuenta esto. Adicionalmente, las tendencias del futuro de los factores externos muestran que el crecimiento va a continuar de la misma

manera, por lo tanto, se espera que las temperaturas en las zonas urbanas sean mayores. Además, siguiendo las proyecciones mundiales se puede esperar los mismos cambios en temperatura y precipitación en esta región. Es importante realizar planes de manejo para áreas verdes, tratar de utilizar materiales que no presenten un cambio muy brusco en la reflexión de las superficies al reemplazar la cubierta vegetal. Crear normativas y leyes más rigurosas para el control hacia las diferentes emisiones a la atmósfera. Por otro lado, con los datos de precipitación analizados se podría esperar más inundaciones en el centro norte de la ciudad en las próximas décadas. Aunque, para tener una mayor certeza habría que analizar datos más frecuentes, como diarios y horarios.

REFERENCIAS

- Acero, J. Á. (2010). Influencia de la vegetación en la calidad del aire y el clima urbano. Congreso Nacional Del Medio Ambiente, 13. Recuperado el 4 de diciembre de 2017 de www.conama10.es
- Alberto, S. (2015). Variabilidad de la temperatura y de la precipitación, en la ciudad de Toluca, Estado de México. Periodo: 1970-2013. Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado el 12 de mayo de 2018 de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/28963>
- Arce, R. (2010). Modelos arima. U.D.I. Econometría e Informática, (i), 31. Recuperado el 10 de enero de 2018 de http://www.uam.es/personal_pdi/economicas/eva/ecoi.html
- Benavides, Ballesteros, & Aristizabal, G. E. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. *Ideam*, 1–102. doi:IDEAM–METEO/008-2007
- Borja, J. (2012). Estado de las ciudades. Exit imagen y cultura. doi:HS/053/12S ISBN Serie 978-92-1-133397-8
- Jenkins, G. M. (2006). *Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Models*. doi: 10.1002/0471667196.ess0074.pub2.
- Box, G. E. P. (2013). *MATH6011: Forecasting*. Recuperado el 8 de agosto de 2018 de <https://www.southampton.ac.uk/~abz1e14/papers/Forecasting.pdf>.
- Cáceres, L., Mejía, R., & Ontaneda, G. (1998). Evidencias del Cambio Climático en Ecuador. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 27(3), 547–556. Recuperado el 5 de marzo de 2018 de <https://cotap.org/cambio-climatico/>.
- Camilloni Inés, V. C. (2007). La Atmósfera Ciencias Naturales. Recuperado el 13 de marzo de 2018 de <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002316.pdf>.

- Gonzales, M. F. C. (2002). Control de calidad en los procesos estadísticos. Una aproximación basada en los modelos ARIMA con Análisis de Intervención. ISBN: 978-84-692-3814-1. Recuperado el 9 de junio de 2018 de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0516/Libro.pdf.
- Cantor, D. (2011). Evaluación y análisis espacio temporal de tendencias de largo plazo en la hidroclimatología Colombiana. Recuperado el 28 de enero de 2018 de <http://www.bdigital.unal.edu.co/9375/>
- Cazorla, M. (2013). Análisis de los datos horarios de radiación solar y abundancia de ozono del Distrito Metropolitano de Quito del 2007 al 2012, 5(2). Recuperado el 4 de marzo de 2018 de <http://www.usfq.edu.ec/Publicaciones/Avances/C67-5-2-2013>.
- Sbarato, V., et.al. (2014). Análisis y Caracterización del Material Particulado Atmosférico Introducción. Recuperado el 12 de junio de 2017 de www.monitoreoambiental.com/.
- Dentener, F. J., Easterling, D. R., Uk, R. A., Uk, R. A., Cooper, O., Canada, F., ... Morice, C. (2013). *Observations: Atmosphere and Surface*. In V. B. and P. M. M. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia (Ed.), *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* (pp. 159–254). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781107415324.008
- Díaz, I., Torres, F., Lizama, D. P., & Boccardo, G. (2014). Guía de Asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS). Recuperado el 16 de junio de 2018 de [https://previa.uclm.es/profesorado/raulmmartin/Estadistica/Practicas SPSS/CORRELACION_CON_SPSS.pdf](https://previa.uclm.es/profesorado/raulmmartin/Estadistica/Practicas_SPSS/CORRELACION_CON_SPSS.pdf).
- ERFEN. (2017). Condiciones El Niño persisten en el Pacífico Central mientras que en el Pacífico Oriental las condiciones locales no son propias de

El Niño extraordinario. Recuperado el 22 de mayo de <http://www.institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2017/08/Erfen-Septiembre2015.pdf>

Feo, O., Solano, E., Beingolea, L., Aparicio, M., & Villagra, M. (2009). Cambio climático y salud en la Región Andina*, 26(1), 83–93. Recuperado el 6 de julio de 2018 de https://www.researchgate.net/publication/228613498_Cambio_climatico_y_salud_en_la_region_andina.

Fernández, S. (2010). Series temporales. Modelo ARIMA (p , d , q) (P , D , Q) s. *Universidad Autónoma de Madrid. Facultad Ciencias Económicas y Empresariales*. Recuperado el 2 de julio de <http://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/SERIES-TEMPORALES/modelo-arima.pdf>.

Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). *Global Change and the Ecology of Cities*. *Science*, 319(5864), 756–760. doi:10.1126/science.1150195

IMN. (2015). El Índice De La Oscilación Del Sur (los), 1–4. Recuperado el 4 de abril de 2018 de <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/37774/7-EL+INDICE+DE+LA+OSCILACION+DEL+SUR.pdf/fabe2c92-82ac-4f1f-8b28-6025892a11a1>.

INAMHI. (2018). Boletín Meteorológico. N°518. Análisis Climatológico. Recuperado el 13 de abril de 2018 de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_men.pdf.

IPCC. (2013). Cambio Climático 2013 Bases físicas. In V. B. y P. M. M. [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia (Ed.), *Resumen para responsables de políticas*. En: *Cambio Climático 2013: Bases físicas* (pp. 1–27). Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de

América: Cambridge University Press. Recuperado el 24 de enero de 2018 de [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report /ar5/ wg1/ WG1AR5 _SPM_brochure_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf).

IPCC. (2014a). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. In R. K. P. and L. A. M. Core Writing Team (Ed.), *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1–151). Recuperado el 13 de febrero de 2018 de <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.

IPCC. (2014b). Informe de síntesis. In R. K. P. y L. A. M. Equipo principal de redacción (Ed.), *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (pp. 2–157). Ginebra, Suiza: IPCC. Recuperado el 16 de febrero de 2018 de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf.

Jauregui, E. (1991). El clima urbano y su relación con los contaminantes del aire. Curso Básico Sobre Contaminación Del Aire y Riesgos Para La Salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 159-175. Recuperado el 17 de marzo de 2018 de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005.

Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Prüss-Ustün, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., & Amann, M. (2015). *Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level*. *Atmospheric Environment*, 120, 475–483. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.08.087

Kurtz, D. B., Perucca, A. R., Ybarra, D. D., Fernández, C., Rey, S., & Barrios, R. (2015). El fenómeno El Niño, 1–18. Recuperado el 23 de abril de 2018 de

https://inta.gob.ar/sites/default/files/fenomeno_el_nino_2015-2016-1.pdf.

- Magrin, G.O., J.A. Marengo, J.-P. Boulanger, M.S. Buckeridge, E. Castellanos, G. Poveda, F.R. Scarano, and S. V. (2014). *Central and South America Coordinating Lead Authors: Lead Authors: Contributing Authors: Review Editors: In* and L. L. W. [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea (Ed.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. y. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1499–1566). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. Recuperado el 22 de febrero de 2018 de https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/4/55154/CEPAL_-_Alatorre.pdf.
- Mahadeva, L. (2004). Prueba de raíz unitaria para ayudar a la construcción de un modelo. *English*, 76. Centros de estudios monetario latinoamericano. Recuperado el 13 de julio de <http://www.cemla.org/PDF/ensayos/pub-en-76.pdf>
- MDMQ. (2008). Atlas Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito, 20–23. Recuperado el 3 de marzo de 2018 de http://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/quito_ambiente/temas_ambientales/cambio_climatico/Documents/DC2AC1_atlas_ambiental_dmq_clima.pdf.
- Melrose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). World population prospects. *United Nations*, 1(6042), 587–592. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Pérez N., J., Valdés V., E., & Ordaz C., V. (2012). Cobertura vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. *Terra*

Latinoamericana, 30(3), 249–259. Recuperado el 16 de enero de 2018 de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57325509001.pdf>.

Prats, J. M. C., Vicente-serrano, S. M., & Sánchez, M. a. S. (2005). Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza (España): la isla de calor y sus factores condicionantes. *Boletín de La A.G.E.*, 40, 311–327. Recuperado el 24 de junio de 2018 de <http://age.ieg.csic.es/boletin/40/13-LOS%20EFECTOS.pdf>.

Puertas, O., & Carvajal, Y. (2008). Incidencia de El Niño-Oscilación del Sur en la precipitación y la temperatura del aire en Colombia , utilizando el Climate Explorer. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, (23), 104–118. doi:10.1029/2005GL023110

Rodolfo, R. (2001). Primer Comunicación Nacional sobre Cambio Climático Ecuador 2001. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Ministerio del Ambiente del Ecuador. *Ministerio Del Ambiente*, 128. Recuperado el 14 de abril de 2018 de <http://unfccc.int/resource/docs/natc/ecunc1s.pdf>

Rojas, E., Arce, B., Peña, A., Boshell, F., & Ayarza, M. (2010). Cuantificación e interpolación de tendencias locales de temperatura y precipitación en zonas alto andinas de Cundinamarca y Boyacá (Colombia). *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 173–182. Recuperado el 23 de abril de 2018 de <http://revista.corpoica.org.co/index.php/revista/article/view/209>.

Rosales, M. (2013). Análisis básico sobre la posible variación de la precipitación y de la temperatura bajo la influencia del cambio climático en la ciudad de Quito. Universidad Central del Ecuador. recuperado el 28 de enero marzo de 2018 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1992>

Secretaría de Ambiente. (2011). Informe Anual 2011 Calidad del Aire del Distrito Metropolitano de Quito, 96. Recuperado el 13 de febrero de 2018 de

http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/iqca_2011.pdf

Sierra, M. (2006). Establecer La Asociación Existente Entre Las Variables Meteorológicas Temperatura, Velocidad Del Viento Y Precipitación Y Las Concentraciones De Pm10 Registradas En La Red De Calidad Del Aire De Bogota D.C., 171. Recuperado el 23 de mayo de 2018 de

<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14805/00798291.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

UNDP. (2012). *Annual Report 2011 / 2012. The Sustainable Future We Want., 84(November 2010)*. Recuperado el 18 de abril de <http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/corporate/annual-report-2011-2012--the-sustainable-future-we-want.html>.

UNFCCC. (2004). Convenio marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático-Los diez primeros años. *Bonn (Alemania), Secretaria Del Cambio Climático*, 97. Recuperado el 25 de marzo de https://unfccc.int/resource/docs/publications/first_ten_years_sp.pdf.

UNFCCC. (2010). *Report of the Conference of the Parties on its fifteenth session, held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009, Addendum, Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its fifteenth session. Unfccc*, 1–43. doi:10.1038/news.2009.1156

Vidal-Abarca, M. R., Montes, C., Ramírez Díaz, L., & Suárez, M. L. (1987). El clima de la Cuenca del Río Segura (S.E. de España): Factores que lo controlan. *Anales de Biología*, 12, 11–28. Recuperado el 17 de junio de 2018 de <http://revistas.um.es/analesbio/article/view/35341>.

Youlton, C., Shiratsubaki, T., Tarso Sanches de Oliveira, P., & Wendland, E. (2012). Influencia del fenómeno El Niño-La Niña y cambio climático en el patrón de lluvias en São Carlos-SP, Brasil. *Estudios Geográficos*, 272, 325–331. doi:10.3989/estgeogr.201212

Zalakeviciute, R., Rybarczyk, Y., López-Villada, J., & Diaz Suarez, M. V. (2017). *Quantifying decade-long effects of fuel and traffic regulations on urban ambient PM2.5 pollution in a mid-size South American city. Atmospheric Pollution Research*, 9(1), 66–75. doi:10.1016/j.apr.2017.07.001

