

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS

NIVELES DE pH DE LA LLUVIA

ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Realizado por:

TAMARA PRISCILA TORRES RAMIREZ

Director de proyecto

Jesús López Villada, Ph.D.

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Quito, 02 de octubre de 2021

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, TAMARA PRISCILA TORRES RAMIREZ, con cédula de identidad # 1715424345, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA
CI.1715424345

**ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020**

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS
NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020”**

Realizado por:

TAMARA PRISCILA TORRES RAMIREZ

Como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Ha sido dirigido por el profesor

JESÚS LÓPEZ VILLADA, PH.D.

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

**JESUS
LOPEZ
VILLADA**

Firmado
digitalmente por
JESUS LOPEZ
VILLADA
Fecha: 2021.10.06
10:50:49 -05'00'

FIRMA

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO

FRANCISCO XAVIER HUGO CARDENAS

Después de revisar el trabajo presentado,

Lo han calificado como apto para su defensa oral ante

El tribunal examinador.

Katty Coral Carrillo
FIRMA



Francisco Hugo
FIRMA

Quito, 02 de octubre de 2021

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

DEDICATORIA

Mi proyecto de tesis lo dedico principalmente a mis queridos padres Yolanda y Julio por ayudarme a cumplir mi meta de ser una profesional y sobretodo apoyarme emocionalmente, guiarme a lo largo de mi vida y nunca soltarme la mano.

A mi hija Nury Emma por ser la luz de mi existencia, por darme la fuerza de seguir adelante y no desmayar en este andar.

A Dios por escucharme.

A mi familia: hermanos, cuñados y sobrinos Ismael y Julián por hacer esta vida más feliz con sus ocurrencias e inocencia.

A todos mis amigos y amigas de la universidad que hicieron que esta etapa fuera maravillosa con su sincera e incondicional amistad mil gracias.

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi tutor Jesús López por brindarme su tiempo y conocimientos para realizar este proyecto.

A Katty Coral por ser una gran maestra y amiga, gracias por sus buenos consejos y el amor que le pone a la enseñanza de sus alumnos, esos pequeños detalles cambian el mundo.

A la Doctora Rosa Romero de Aguinaga por abrirme las puertas de su casa y brindarme la mano.

A Agnès Schoenenberger de igual manera por abrirme las puertas de su casa, por su apoyo moral y sabiduría.

A Leonardo por incentivar me a aprender.

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

02/10/2021 11:18

Para someter a:
To be submitted:

**Análisis espacio-temporal de los niveles de pH de la lluvia ácida en la ciudad de Quito
en el periodo 2016 - 2020.**

Tamara Torres¹, Jesús López Villada¹, Katty Verónica Coral Carrillo¹, Francisco Xavier
Hugo Cardenas¹

Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas Quito,

Ecuador. 02/10/2021

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Jesús López Villada PhD. Universidad
Internacional SEK, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas Quito, Ecuador.

Teléfono: +593- 96 820 9573 ; email: jesus.lopez@uisek.edu.ec

Título corto o Running title: Análisis de lluvia ácida en Quito

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Resumen

La elaboración de la investigación fue realizada con la intención de analizar el estado actual y pasado sobre lluvia acida en Quito, ya que este problema es causante de impactos ambientales graves como la afectación de flora y fauna , además de propiedades o inmuebles e incluso puede verse comprometida la salud humana, este fenómeno de la lluvia acida es catalogado como un impacto ambiental negativo que inicio con la industrialización en Norte América y países Europeos, sin embargo el país y ciudad de Quito no están exceptos de esta problemática, la lluvia tal como la conocemos presenta niveles de pH más acido de lo normal por el aumento de la concentración de contaminantes como óxidos de nitrógeno y azufre ($\text{NO}_2 - \text{SO}_2$) este fenómeno es de tipo local y pese a esto causa molestias el área donde se presente ,se analizo el estado en el que se ha ido presentando en la ciudad de Quito ya que con el pasar del tiempo la población ha ido aumentando y con ello también sus necesidades como la movilidad, uno de los causantes de contaminación atmosférica, por otro lado el NO_2 también es causante del ozono troposférico un gas que se forma a partir de las emisiones de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COV) mismos que son generados por la quema de combustibles fósiles.

Palabras clave: lluvia acida, NO_2 , SO_2 , O_3 , contaminación atmosférica, regresión, movilidad urbana

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Abstract

The preparation of the research was carried out with the intention of analyzing the current and past state of acid rain in Quito, since this problem is the cause of serious environmental impacts such as the affectation of flora and fauna, as well as properties or buildings and can even be seen compromised human health, this phenomenon of acid rain is classified as a negative environmental impact that began with industrialization in North America and European countries, however the country and city of Quito are not exempt from this problem, rain such as We know it has more acidic pH levels than normal due to the increase in the concentration of pollutants such as nitrogen oxides and sulfur (NO_2 - SO_2) this phenomenon is of a local type and despite this it causes discomfort in the area where it occurs, with the analysis The state in which it has been presented in the city of Quito was analyzed since with the passage of time the population has been increasing and with it also n their needs such as mobility, one of the causes of atmospheric pollution, on the other hand NO_2 is also the cause of tropospheric ozone, a gas that is formed from emissions of nitrogen oxides and volatile organic compounds (VOC), which are generated by burning fossil fuels.

Keywords: acid rain, NO_2 , SO_2 , O_3 , air pollution, regression, urban mobility

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Introducción

En la actualidad la ciudad de Quito se ha ido extendiendo tanto a nivel poblacional y demográfico, hasta el 2010 en Quito hubo un aumento en el número de personas de 2.576.287 con una tasa de crecimiento del 0.84 comparado tan solo con el año 1990 donde solo había 1.756.228 habitantes según (INEC, 2010), demostrando que a medida que ha ido creciendo también la contaminación incremento por factores como el excesivo consumo y la emisión de combustibles fósiles (Vega et al., 2015), aspectos que dejan graves impactos en el ambiente.

Uno de los problemas más representativos que tiene la ciudad es respecto a la movilidad humana y la cantidad excesiva de vehículos que circulan cada día como fuente móvil de contaminación atmosférica directa (Sanchez Yunga & Zuñiga Guzhñay, 2018), por los gases de combustión interna que se genera después que los combustibles fósiles son consumidos por el automóvil, bus, camión, etc.

La importancia controlar mediante el monitoreo es debido a que la atmosfera es una composición gaseosa que está rodeando la Tierra, ciertas características definen su estado como lo son el viento, la humedad, la presión y la temperatura. (Globe, 2005). La composición de la atmosfera se cree que viene dada desde la antigüedad cuando se formó por los gases que se expulsaron de las erupciones volcánicas y estos a través del tiempo fueron moldeando hasta obtener al composición actual con vapor de agua (80%), CO₂ (10%) y N₂ en mínimas cantidades (Arco, 2010).

La atmosfera tiene de capas que llegan hasta los 500km de altura comenzando con la troposfera en los primeros 12km aproximadamente pero en la zona del Ecuador se puede

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

extender hasta 19km según (Camilloni & Vera, 2003) donde encontraremos la mayor altura, a los polos, y con 9km siendo la menor altura. Es interesante los fenómenos que ocurren dentro de esta capa uno de ellos son los vientos, tornados y huracanes y por lo consiguiente también la lluvia ácida. (Dolores & Malagón, 2011.)

Para entender la relación entre la lluvia ácida como contaminante veremos cómo actúan las precipitaciones, por definición son la acumulación de gotas que se forman en las nubes, una vez que estas se saturan bajan a la superficie de la tierra en forma de lluvia o agua líquida este proceso sucede en la troposfera y su estudio llega a ser importante ya que existen factores que influyen en el estado que estas gotas precipitan, es decir si la nube acumula partículas de gases de cualquier tipo, es natural ver la misma composición en el agua lluvia que se condensa. (Arco, 2010)

Varios sucesos en la Tierra como la erupción de volcanes, respiración, y fenómenos naturales generan cierto grado de contaminación atmosférica sin embargo la antropológica es la más grave por la cantidad inmensurable de gases que producen puesto que no son reversibles causando impactos ambientales. (A. Rodríguez, 2005)

La lluvia ácida es uno de los problemas medio ambientales al que el mundo ya está afrontándose y es un fenómeno que afecta en todos los niveles tanto en la salud pública, ambiente, social y económico (Granados Sánchez et al., 2010) por lo que su estudio es imprescindible para frenar y mitigar las consecuencias que produce al entorno donde nos desarrollamos. (*Ecología y Medio Ambiente En El Siglo XXI Por Julia Carabias, Jorge A. Meave, Teresa Valverde, Zenon Cano Santana.Pdf*, n.d.)

La formación de la lluvia ácida principalmente se otorga a dos compuestos gaseosos

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

los cuales son el dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre(NO_2 - SO_2) (Han et al., 2018), conocidos como contaminantes primarios que al entrar en contacto con el agua (H_2O) bajan el nivel de pH y se transforman en contaminantes secundarios al transformarse en ácidos como se verá más adelante, (Flores & Bonilla, 2017) según las reacciones químicas que se generan. Para considerar que el pH es ácido en la escala debe estar por debajo del 7 por otro lado para determinar si el agua de lluvia es ácida debe ser inferior a 5,6(Garcés Giraldo & Hernández Ángel, 2004).

En Quito la primera causa de contaminación sin duda es la causada por el transporte, podemos verificar esto solo fijándose en el tráfico que causa la alta cantidad vehicular, además existen otros indicadores como la tasa anual de compra de vehículos, según el Diario

Primicias en un artículo escrito por Gabriela Coba en el año 2021 analiza la crisis que causó el COVID-19 en el sector automotriz por una parte en abril del año 2020 se registró la más baja cantidad de unidades vendidas de todo el año sin embargo a partir del mes de mayo del mismo año comenzó a subir y se mantuvo en constante crecimiento (Coba, 2021).

En el año 2017 se registró un total de 435.629 vehículos matriculados en la ciudad de Quito y tan solo en un año posteriormente en el 2018 subió a un total de 540.827 vehículos matriculados según la ATM (Agencia de Transito y Movilidad) es preocupante creer que el parque automotor de Quito está creciendo el triple de la población y las consecuencias que puede generar aún más considerando que en el Ecuador el máximo permisible de contenido de azufre actualmente es de 500ppm un valor alto si lo comparamos con países Europeos donde los máximos permisibles son entre 10 y 15 ppm del contenido de azufre (Vallejo, s.f.) Sin embargo están aceptadas por la norma INEN de calidad, bajar el

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

contenido de azufre en el combustible que procesa nuestro país tendría costos altos por lo que hasta el momento no es una opción viable.

La calidad del aire es uno de los parámetros que las autoridades ambientales del Ecuador deben tener presente, según la constitución todos los ciudadanos tenemos el derecho al buen vivir o *sumak kawsay*, que es la plena convivencia entre los ciudadanos y la naturaleza en un ambiente sano y perfectamente equilibrado. (*Constitución Del Ecuador*, n.d.)

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) casi el 23% de enfermedades están relacionadas con el estado del medio ambiente, siempre que exista un mal manejo de los recursos naturales por el consumo masivo, tendrá consecuencias en la salud del hombre. (*Medio Ambiente y La Salud*, 2016), además el mal manejo y pésimas prácticas ambientales en los procesos de producción, sumado a la actividad antropológica como la movilidad e industria que contaminan los componentes suelo, agua y atmosfera. (OMS, 2017)

Por otra parte existe la posibilidad que los óxidos de nitrógeno causantes de lluvia acida también tengan que ver con la generación de ozono troposférico, llamado así por que se produce en la parte baja de la atmosfera y su naturaleza se debe a la combinación de óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles más la luz solar, los aspectos ambientales que lo causan es la quema de combustibles fósiles provenientes de los escapes de vehículos (Química, 1997). El control y monitoreo debe ser considerado por las autoridades ambientales debido a que no existen niveles permisibles para este compuesto, pero los efectos que producen son negativos en la salud humana y medio ambiente ya que forma parte del llamado smog (Ziemke et al., 2011).

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

La metodología utilizada va a ser la combinación de habilidades adquiridas y herramientas tecnológicas, primero se realizó un análisis de regresión con los datos históricos obtenidos a través de la página de la Secretaria del Ambiente para (NO_2 - SO_2) cuyos datos son tomados cada hora durante todo el día en unidades de ug/m^3 . Tomando en cuenta que un mes tiene alrededor de 31 días aproximadamente, durante un mes se obtendrá en torno de 744 horas y a su vez datos, dándonos una cantidad alta, por lo que se optó por realizar promedios mensuales tomando en cuenta que se analizara cerca de 5 años seguidos.

En el presente estudio se analizó tres variables para definir si la ciudad de Quito ha estado en peligro de sufrir o ha sufrido lluvia acida, a través de datos históricos de NO_2 - SO_2 de 5 estaciones de muestreo ubicadas en Quito que han recogido datos desde el año 2004, sin embargo en este estudio se centrara en el análisis Espacio Temporal a partir del año 2016 hasta el año 2020 trabajando con promedios mensuales para un análisis más conciso.

Posteriormente el Análisis Espacial se desarrollara mediante la utilización de una herramienta llamada ArcGIS, un software diseñado para el análisis de sistemas de información geográfica y a partir de los mapas generados tener una visión más clara y amplia de la incidencia que tienen los contaminantes (NO_2 - SO_2) en la formación de agua lluvia acida y como están distribuidos en la ciudad de Quito a lo largo de tiempo y espacio.

Después de revisar la bibliografía preexistente se evidencio que además de causar lluvia acida los óxidos de nitrógeno también son los responsables de la formación de ozono troposférico un contaminante muy peligroso para la salud humana y medio ambiente por lo que se procedió a realizar el análisis de este compuesto en el mismo periodo.

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Por consiguiente el objetivo principal fue verificar si la ciudad de Quito sufre de contaminación ambiental por lluvia acida a través del análisis de datos históricos de dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y del pH de material sedimentable en distintas zonas de posible conflicto y posterior mente realizar el respectivo mapa de predicción. Por otra parte para lograrlo se estableció los siguientes objetivos específicos (1) Revisar la bibliografía preexistente al problema de acidificación en la ciudad de Quito mediante la búsqueda en plataformas institucionales. (2) Ordenar los datos históricos de dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y ozono (O_3) obtenidos a través de la plataforma de la Secretaria del Ambiente de forma que sea más factible su procesamiento. (3) Sacar los promedios mensuales y anuales de la base de datos de dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) para mediante el software Excel realizar una regresión y obtener el coeficiente de correlación entre los dos gases. (4) Interpretar los datos a través de graficas estadísticas para conocer el estado de contaminación por los gases dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y si están inciden en el pH de las muestras de material sedimentable. (5) Realizar los mapas de predicción mediante la utilización de la herramienta kriging a través de software ArcGIS para verificar que zona está más en riesgo de sufrir lluvia acida.

Materiales y métodos

- **Área de estudio**

La ciudad de Quito capital de la República del Ecuador está ubicada en la zona sierra en la provincia de Pichincha en el Centro – Norte del país, limita al norte con Imbabura y al sur con la provincia de Cotopaxi, al este con Napo y al oeste con Esmeraldas y Santo

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Domingo.

Como se adjuntó a continuación en el mapa:



Quito actualmente tiene 2.011 millones de habitantes aproximadamente en el área urbana ,dividida por 32 parroquias urbanas y 33 rurales , al ser la capital del país es una de las ciudades más activas en el comercio , industria y negocios.(Del & Metropolitano, n.d.)

Con esta investigación se quiere reflejar como afectan los compuestos (NO_2 - SO_2) a la

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

formación de agua lluvia acida al disminuir su pH.

- **Búsqueda de información**

Primero mediante la conversación con la Secretaria del Ambiente y sus representantes se logró obtener los datos de pH del material sedimentable los cuales corresponden a muestras únicas de partículas sedimentables recogidos en depósitos que se exponen durante 30 días continuos al ambiente como forma de muestreo, dicha metodología es establecida por la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire. Para el procedimiento de laboratorio por otro lado primero se mide el pH en la muestra húmeda o seca usando el método electrométrico con base del método APHA 4500-H+.

- **Verificación de datos históricos**

Segundo se buscó información de datos para los compuestos de (NO_2 - SO_2) los cuales se sabe que inciden en la formación de la lluvia acida, tales fueron encontrados en la base de datos que maneja la Secretaria del Ambiente como parte del monitoreo ambiental según la ley dicta.

- **Intervención en los datos brutos**

Tercero se procedió a intervenir en los datos brutos sacando promedios mensuales de los años 2016 al 2020 la razón de este rango de tiempo es debido a que aunque existen datos de (NO_2 - SO_2) desde el 2004, no pasa lo mismo con los datos de material sedimentable que maneja datos solo desde el año 2016 hasta inicios del 2020 debido a que esta muestra la toman directamente, se sabe que debido a la pandemia del COVID-19 no

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

fue posible recolectar las muestras a partir del segundo mes del año 2020 hasta la actualidad, es por eso que el estudio se centró en ese lapso de tiempo.

- **Selección de estaciones de análisis**

Cuarto después de obtener los datos de los promedios mensuales para cada año de cada estación seleccionada las cuales son:

Tabla 1: Estaciones de análisis

<i>N°</i>	<i>ESTACION</i>	<i>GEOPOSICIÓN</i>
<i>1</i>	BELISARIO	78°29'24" W, 0°10'48" S
<i>2</i>	CARAPUNGO	78°26'50" W, 0°5'54" S
<i>3</i>	CENTRO	78°30'36" W, 0°13'12" S
<i>4</i>	COTOCOLLAO	78°29'50" W, 0°6'28" S
<i>5</i>	GUAMANI	78°33'5" W, 0°19'51" S

Se las agrupo en 25 cada tabla tiene como datos los contaminantes (NO₂ - SO₂) y el pH estos datos son promedios mensuales para los años 2016-2017-2018-2019 y principios del 2020 como se ejemplifica en la siguiente tabla:

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Tabla 2: Modelo de tabla para la regresión

AÑO	NO2	SO2	pH
	ESTACION		
enero			
febrero			
marzo			
abril			
mayo			
junio			
julio			
agosto			
septiembre			
octubre			
noviembre			
diciembre			

Resultando así más fácil el análisis de datos, se realizó una regresión para obtener el coeficiente de correlación múltiple que demostrara la relación directa entre los contaminantes dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂).

- **Correlaciones realizadas**

- NO₂ vs. SO₂ para la estación Belisario
- NO₂ vs. SO₂ para la estación Carapungo
- NO₂ vs. SO₂ para la estación Centro
- NO₂ vs. SO₂ para la estación Cotocollao
- NO₂ vs. SO₂ para la estación Guamani

Las correlaciones se realizaron para cada año en todas las estaciones obteniendo la siguiente tabla:

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Tabla 3. Resumen de la regresión realizada para los contaminantes NO₂ Y SO₂

AÑO	ESTACIÓN	Coeficiente de correlación	Coeficiente de determinación R ²
2016	BELISARIO	0.99	0.99
2016	CARAPUNGO	0.95	0.89
2016	CENTRO	0.96	0.92
2016	COTOCOLLAO	0.96	0.93
2016	GUAMANI	0.97	0.95
2017	BELISARIO	0.97	0.94
2017	CARAPUNGO	0.98	0.96
2017	CENTRO	0.90	0.81
2017	COTOCOLLAO	0.92	0.84
2017	GUAMANI	0.91	0.83
2018	BELISARIO	0.96	0.93
2018	CARAPUNGO	0.96	0.92
2018	CENTRO	0.98	0.96
2018	COTOCOLLAO	0.96	0.92
2018	GUAMANI	0.96	0.93
2019	BELISARIO	1.00	0.99
2019	CARAPUNGO	0.97	0.95
2019	CENTRO	0.99	0.98
2019	COTOCOLLAO	0.82	0.68
2019	GUAMANI	0.99	0.98

- **Análisis espacial**

Quinto mediante la herramienta Kriging del software AcrGis se realizó mapas de predicción para cada año 2016,2017,2018,2019,2020 y para cada gas dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) incluido el pH del material sedimentable para verificar cual

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020
es el comportamiento espacial de los contaminantes, lo interesante de utilizar este método es

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

la autocorrección que se genera a partir de los datos, mediante una función matemática construye un semivariograma el cual se compone de una superficie de predicción y su respectiva validación es decir entre más alejados o dispersos estén los datos la curva crecerá.

- **Análisis entre NO₂ y O₃ troposférico**

Después de la revisión bibliográfica extendida y minuciosa se encontró otra afectación del NO₂ en la contaminación atmosférica, una concentración alta de este compuesto junto con compuestos orgánicos volátiles y alta radiación del sol crean un contaminante secundario llamado ozono troposférico el cual se analizara conjunto al dióxido de nitrógeno para ver su incidencia con respecto a su formación y el estado en el que se encontró durante el periodo estudiado.

Cuadro 1. Máximos permisibles y efectos adversos según la OMS

COMPUESTO	MAXIMO PERMISIBLE	UNIDADES	TIEMPO	EFFECTOS
NO ₂	40	µg/m ³	media anual	Síntomas de bronquitis en niños asmáticos
	200	µg/m ³	media en 1h	Disminución del desarrollo de la función pulmonar
SO ₂	20	µg/m ³	media en 24h	Afecta al sistema respiratorio Causa irritación ocular Inflamación del sistema respiratorio Secreción mucosa y agravamiento del asma
	500	µg/m ³	media en 10 min	Bronquitis crónica Cardiopatías

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

				deforestación por lluvia acida
O3	100	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	media en 8h	Produce problemas respiratorios Provoca asma reducir la función pulmonar Originar enfermedades pulmonares.

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

RESULTADOS

Grafico 1. Análisis temporal sobre lluvia acida en el periodo 2016 – 2020 para estación Belisario

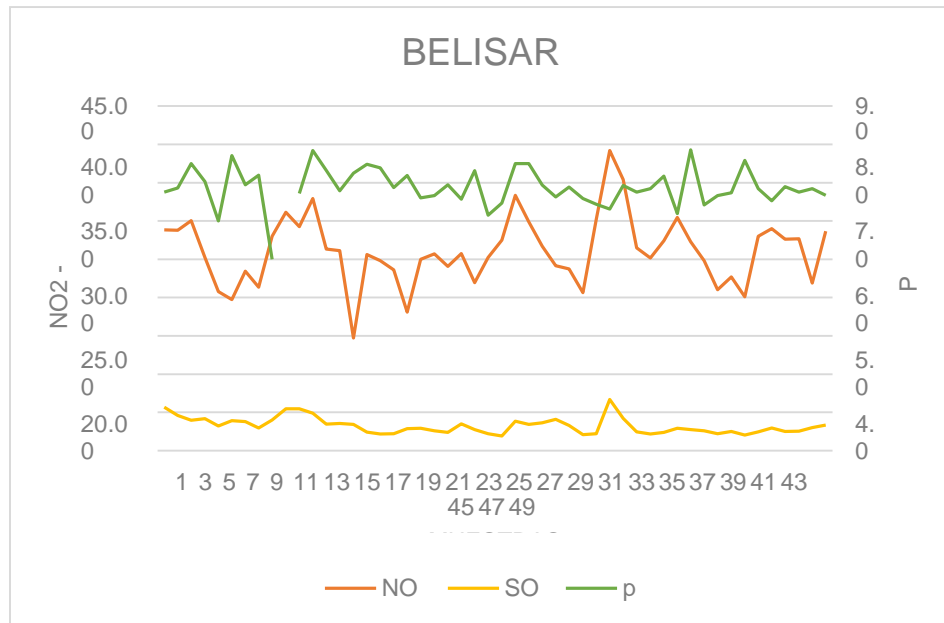
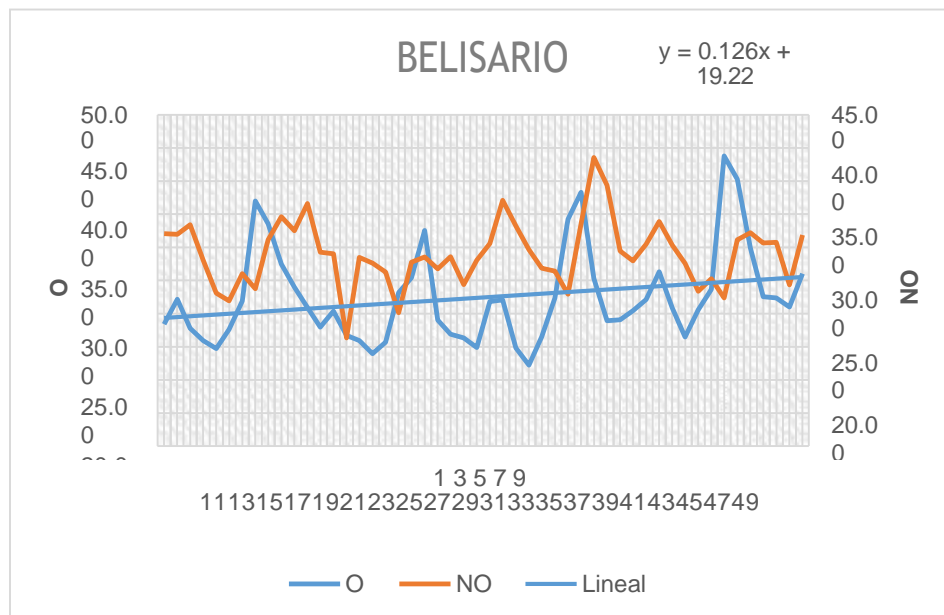


Grafico 2. Análisis temporal sobre ozono troposférico en el periodo 2016 – 2020 para estación Belisario



ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Grafico 3. Análisis temporal sobre lluvia acida en el periodo 2016 – 2020 para estación Carapungo

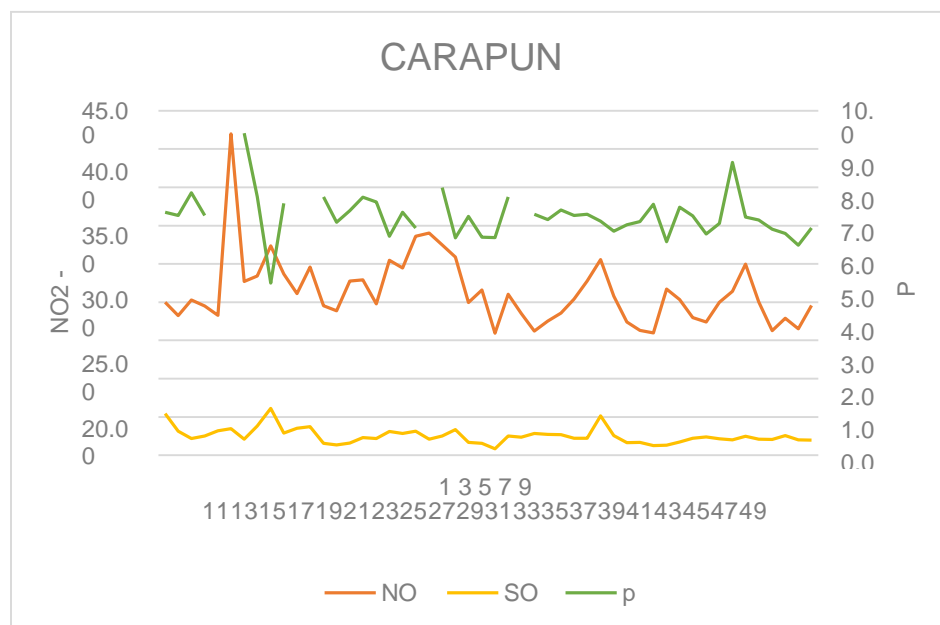
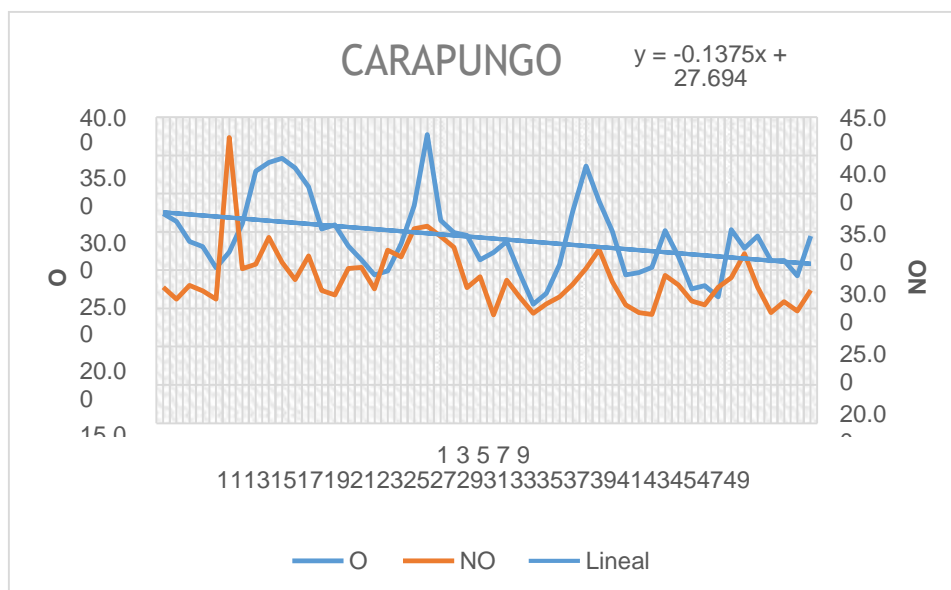


Grafico 4. Análisis temporal sobre ozono troposférico en el periodo 2016 – 2020 para estación Carapungo



ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Grafico 5. Análisis temporal sobre lluvia acida en el periodo 2016 – 2020 para estación Centro

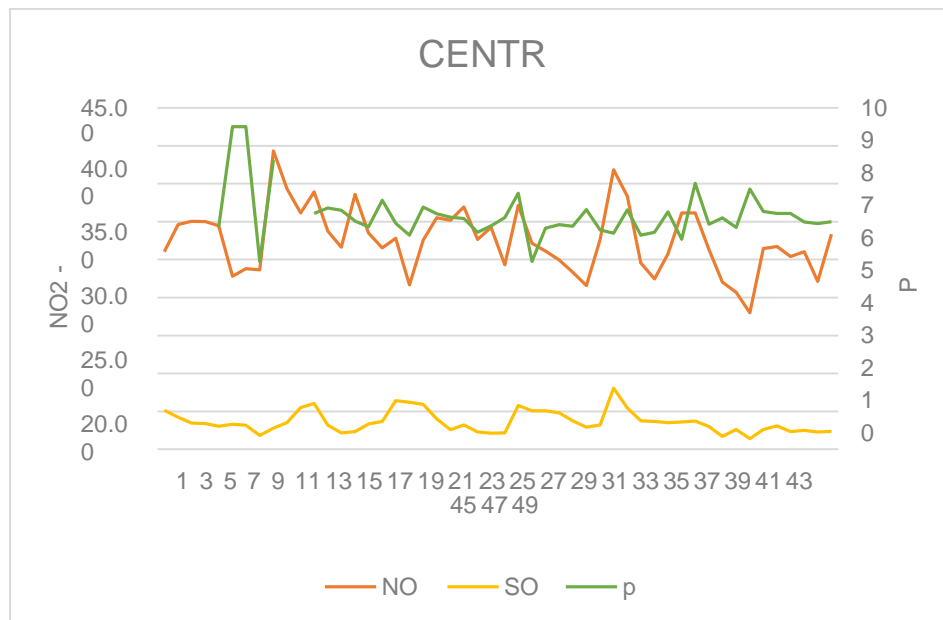
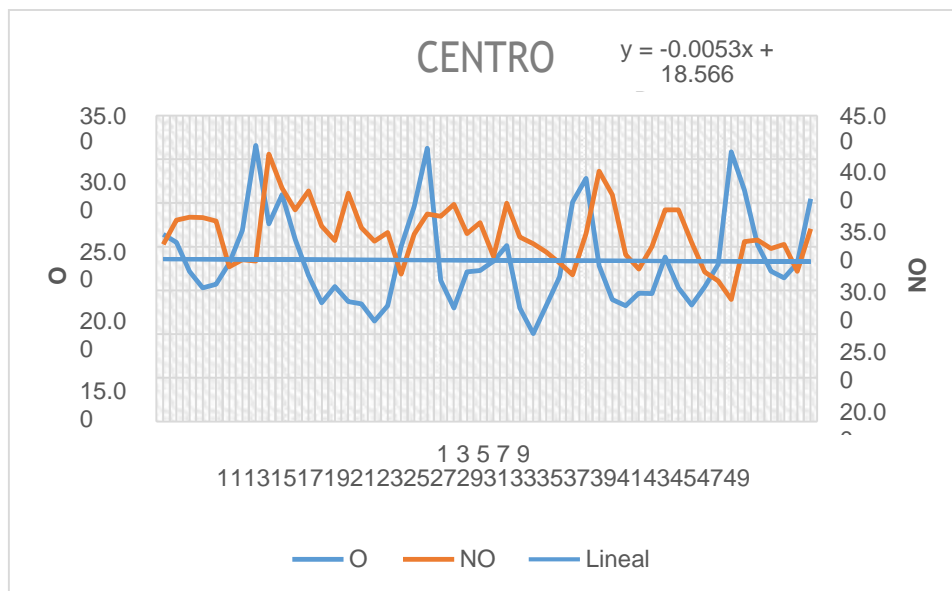


Grafico 6. Análisis temporal sobre ozono troposférico en el periodo 2016 – 2020 para estación Centro



ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Grafico 7. Análisis temporal sobre lluvia acida en el periodo 2016 – 2020 para estación Cotocollao

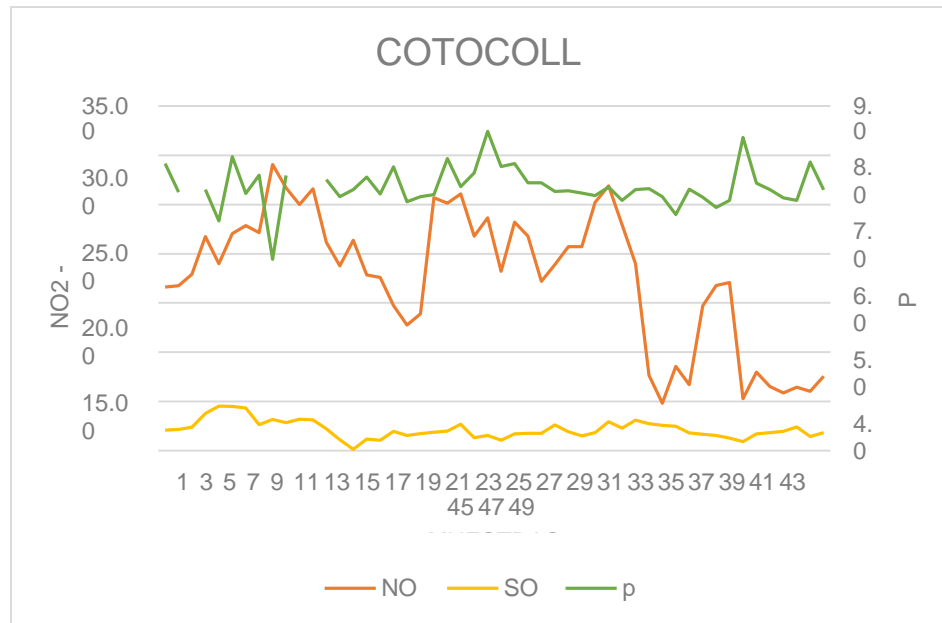
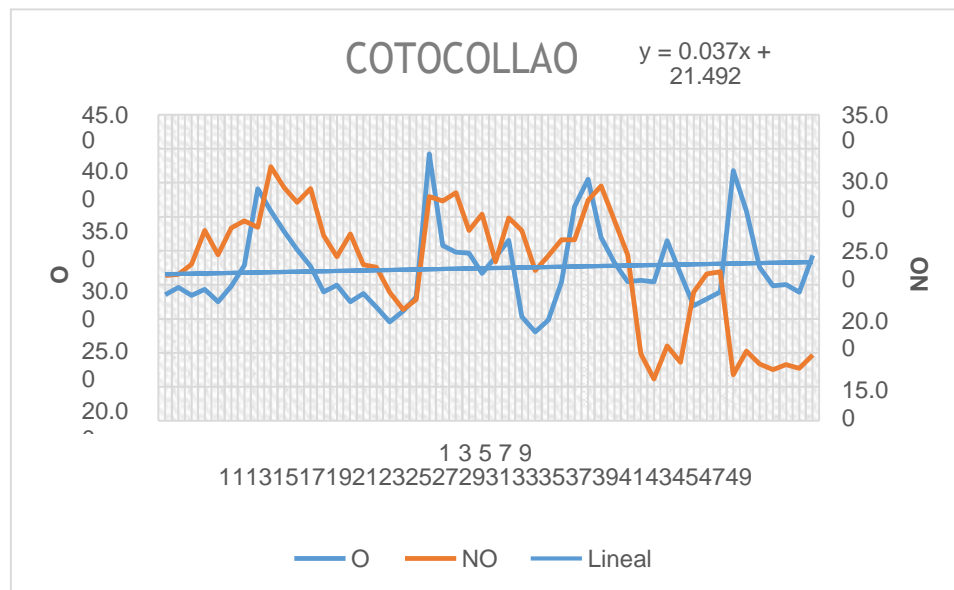


Grafico 8. Análisis temporal sobre ozono troposférico en el periodo 2016 – 2020 para estación Cotocollao



ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Grafico 9. Análisis temporal sobre lluvia acida en el periodo 2016 – 2020 para estación Guamani

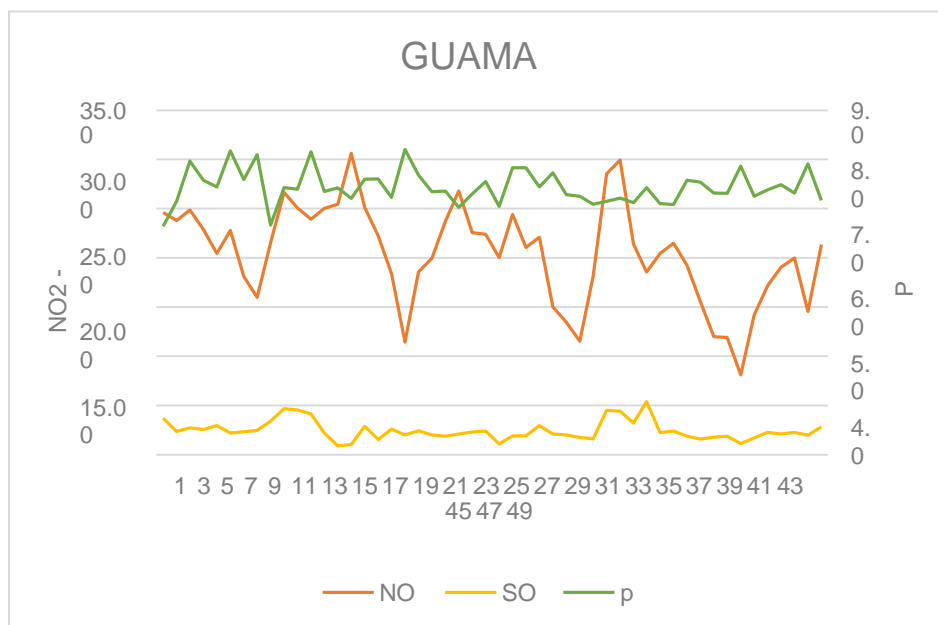
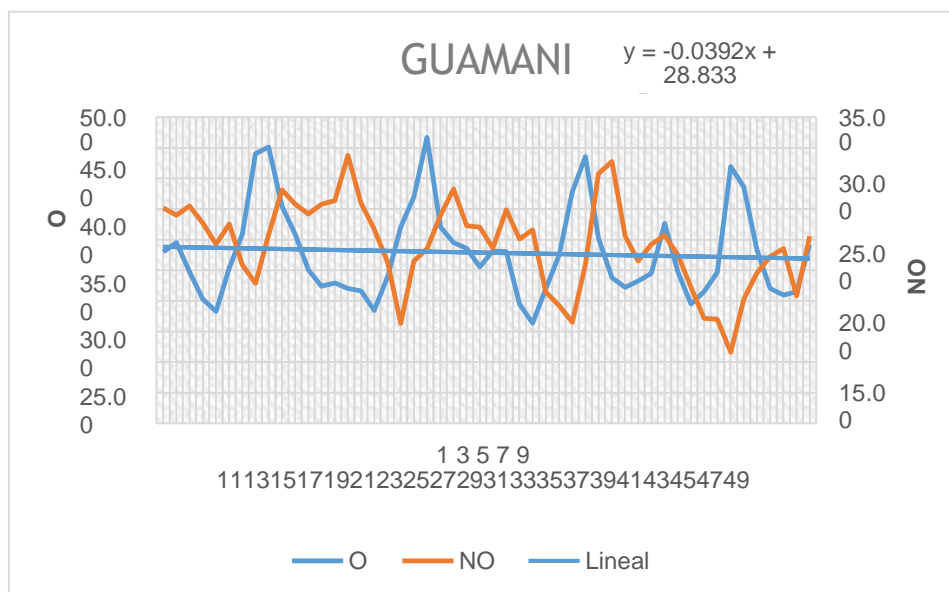


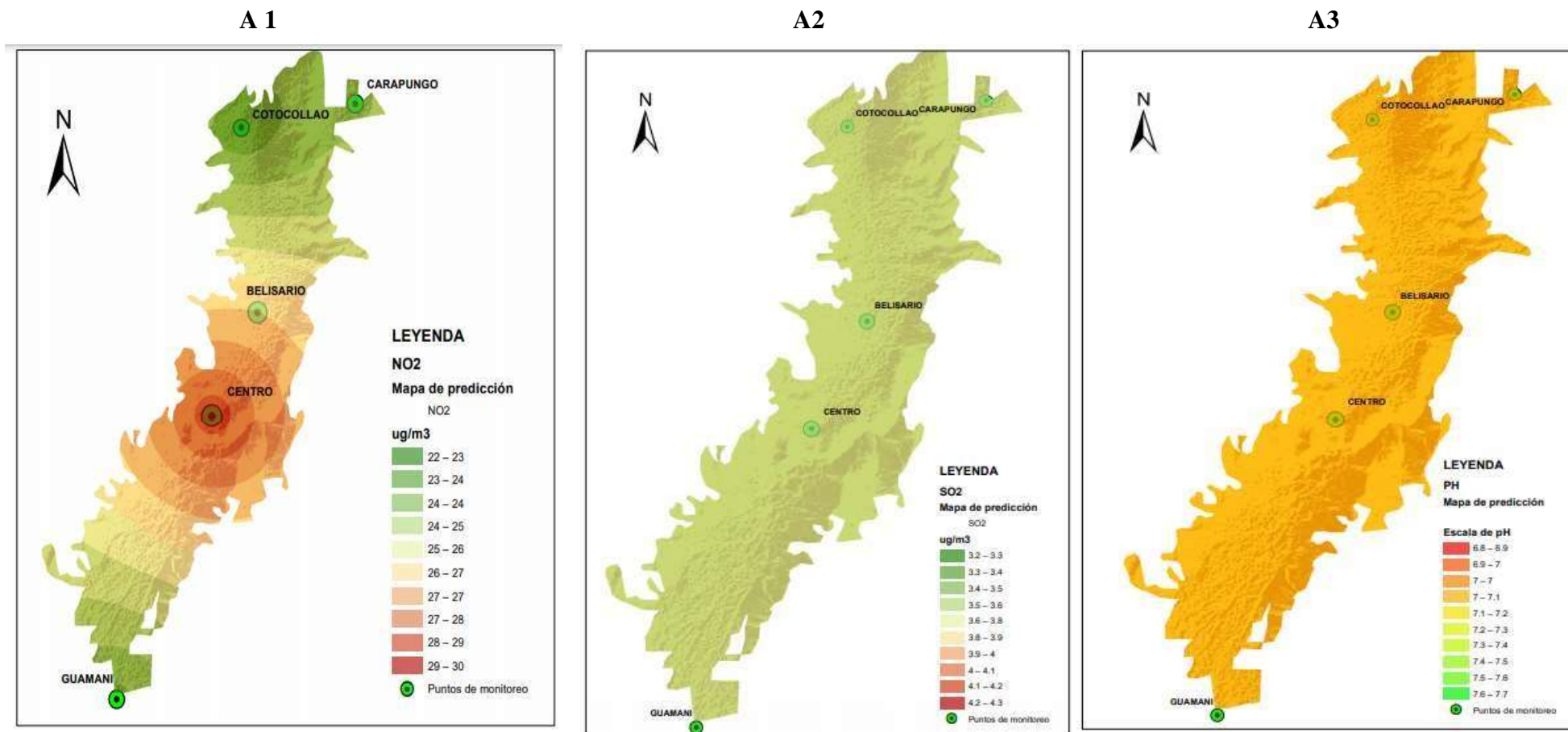
Grafico 10. Análisis temporal sobre ozono troposférico en el periodo 2016 – 2020 para estación Guamani



ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

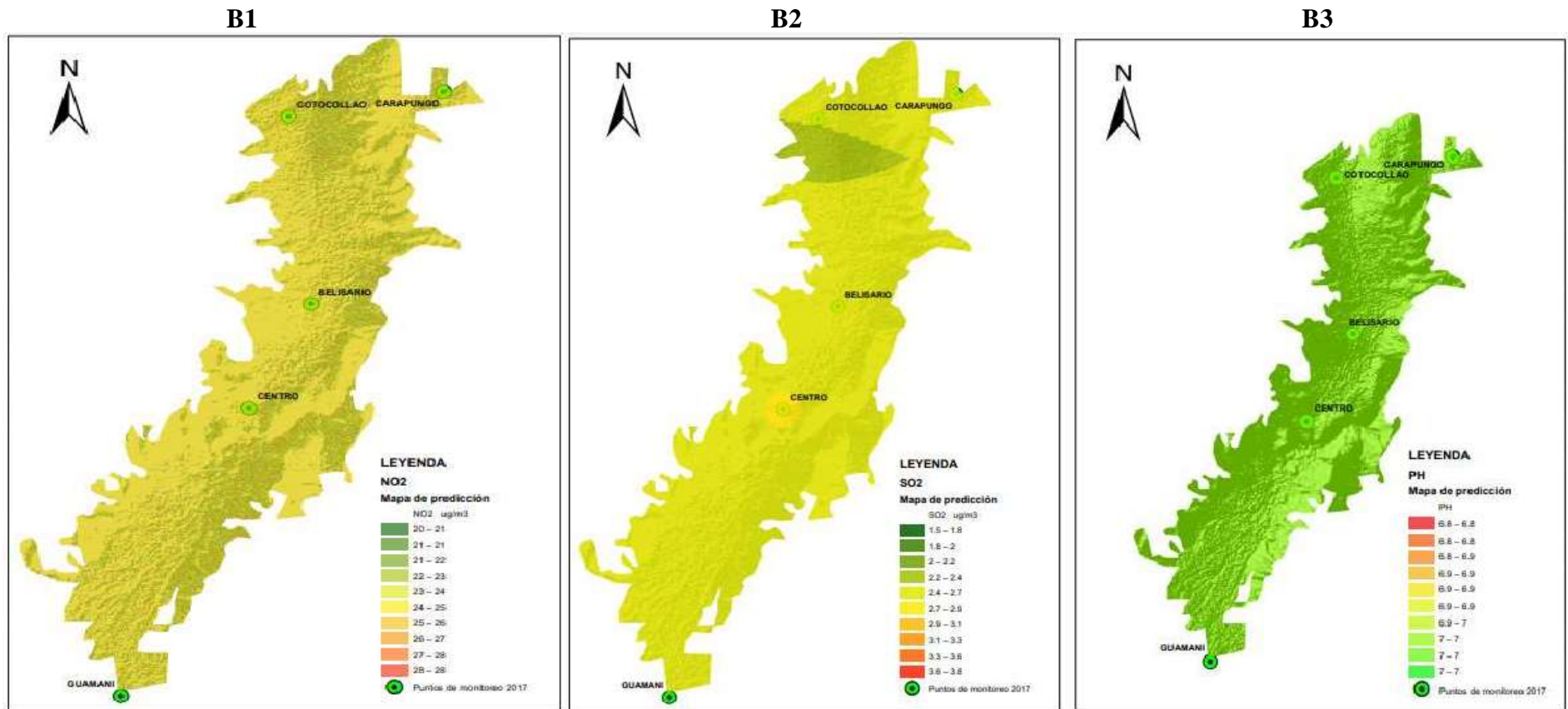
Resultados

Mapas A1, A2, A3: Análisis espacial usando interpolación Kriging de predicción ordinaria para el año 2016.



ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

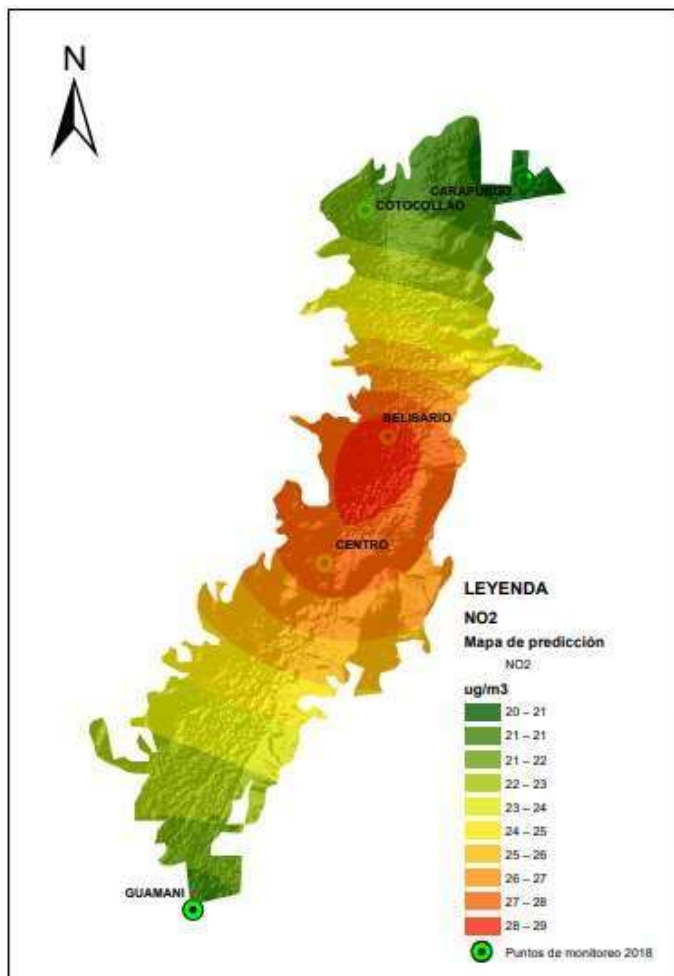
Mapas B1, B2, B3: Análisis espacial usando interpolación Kriging de predicción ordinaria para el año 2017.



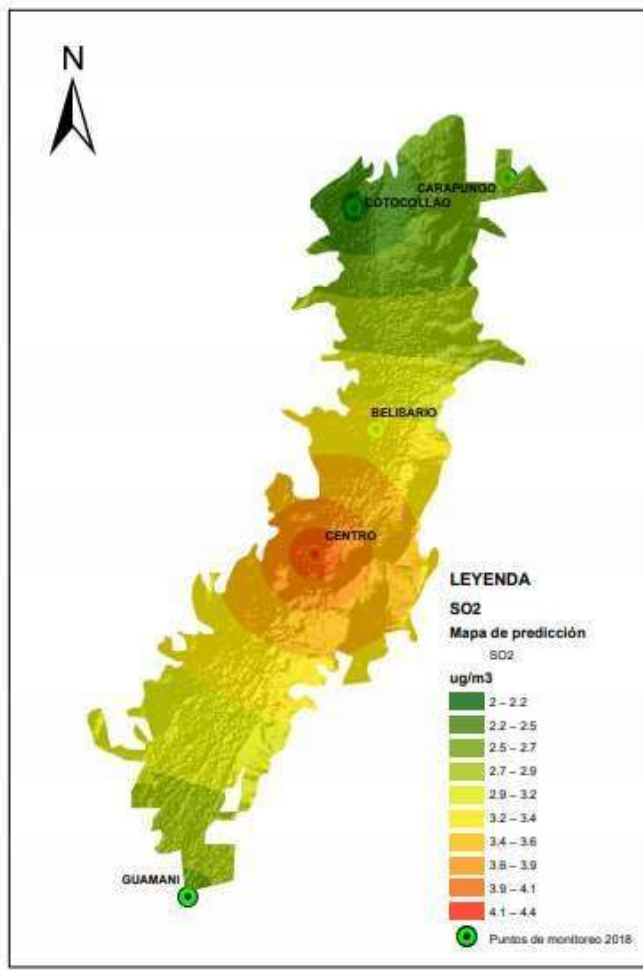
ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Mapas C1, C2, C3: Análisis espacial usando interpolación Kriging de predicción ordinaria para el año 2018.

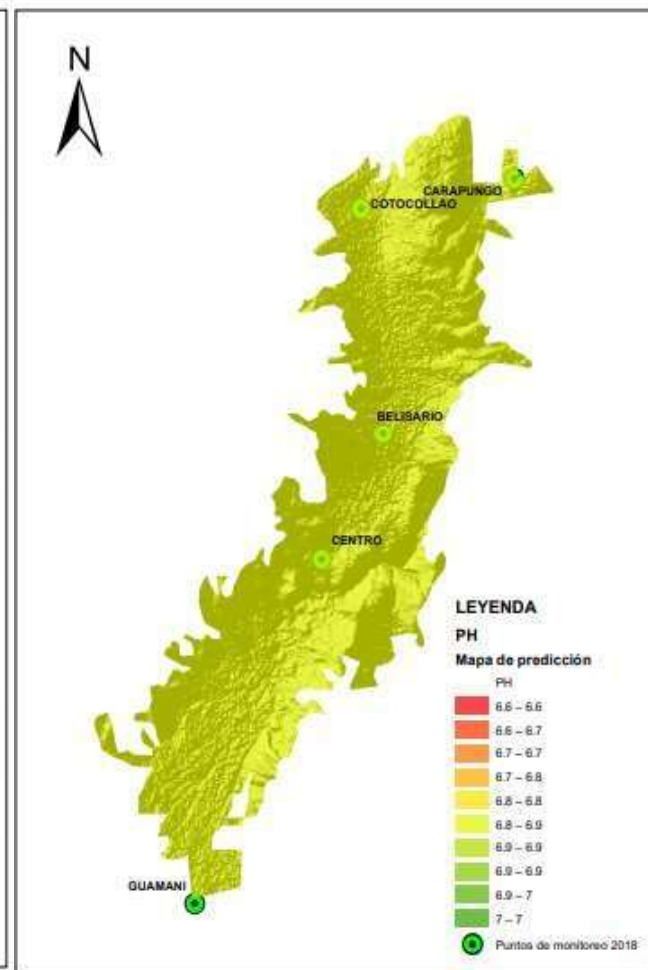
C1



C2



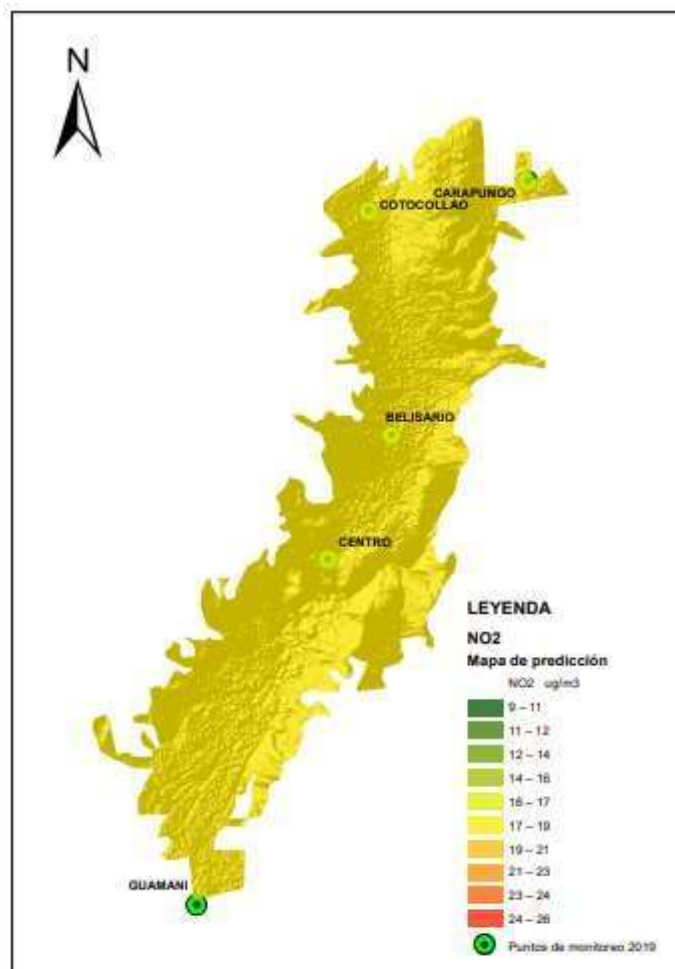
C3



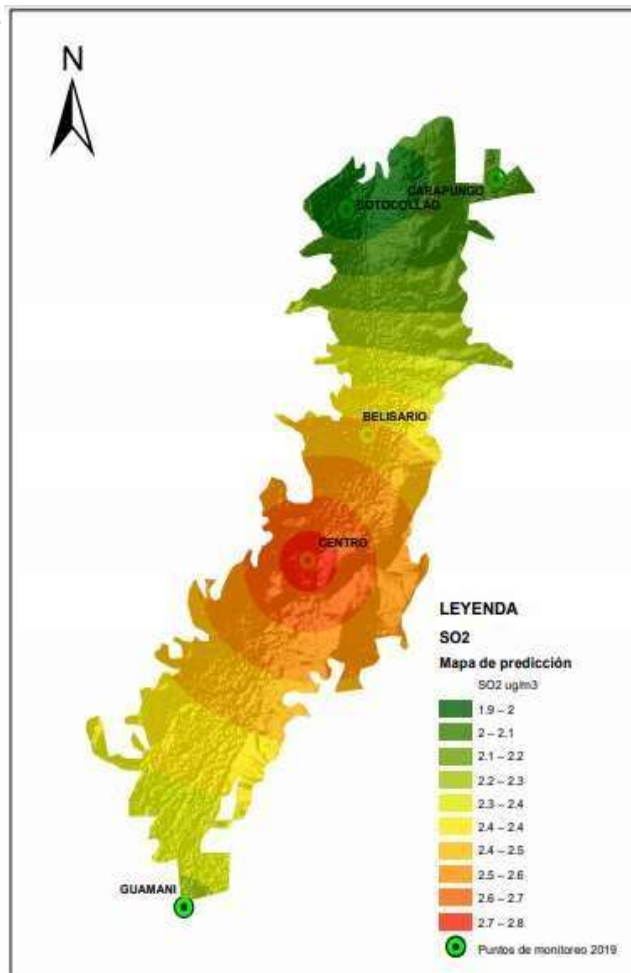
ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Mapas D1, D2, D3: Análisis espacial usando interpolación Kriging de predicción ordinaria para el año 2019.

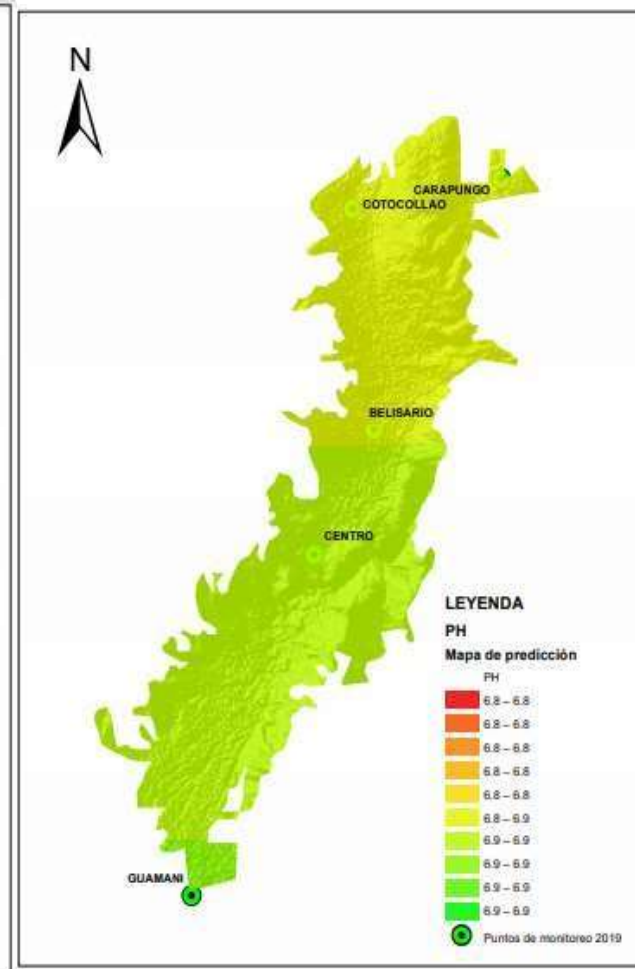
D1



D2



D3

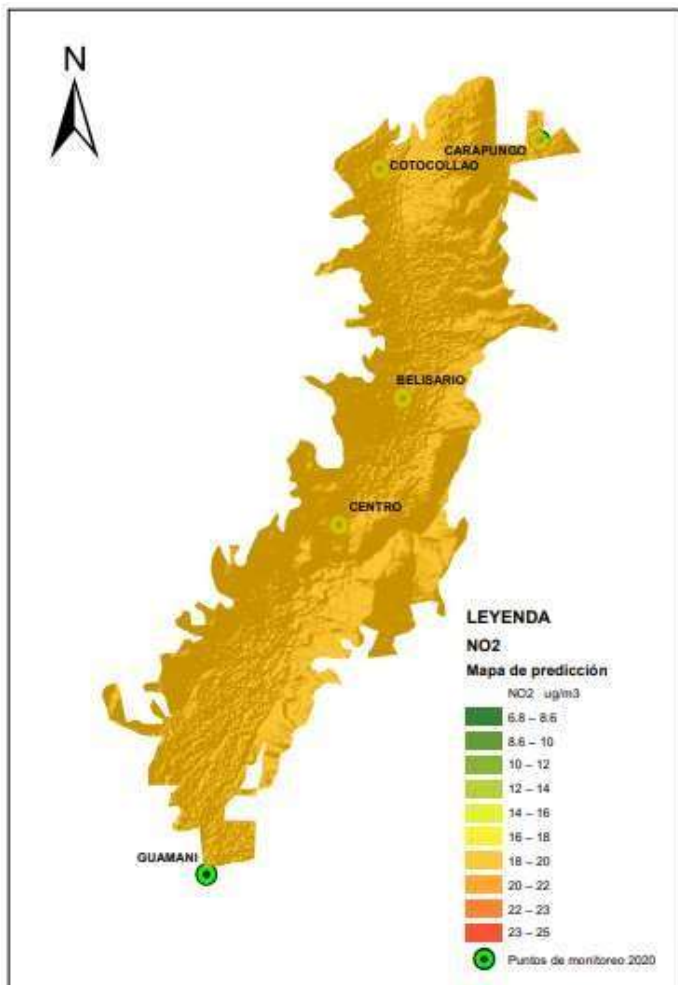


ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

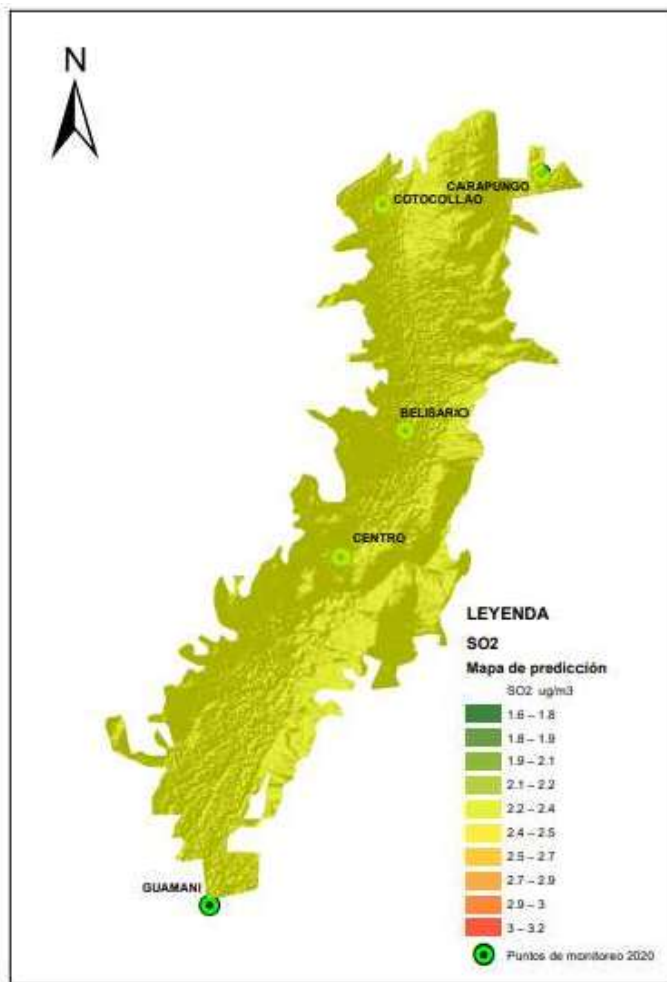
Mapas E1, E2, E3: Análisis espacial usando interpolación Kriging de predicción ordinaria para el año 2020.

37

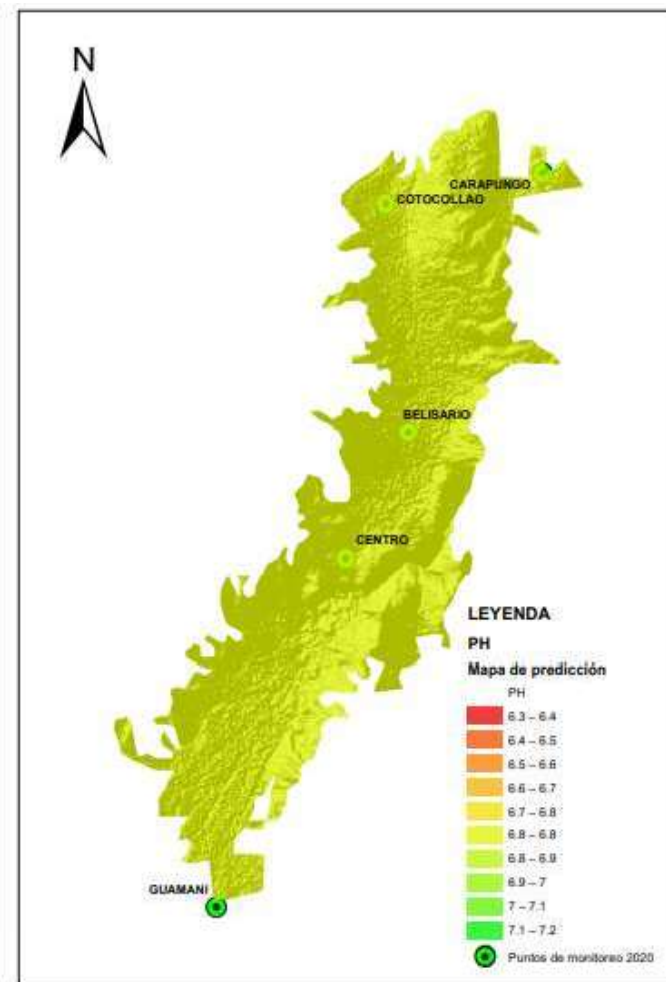
E1



E2

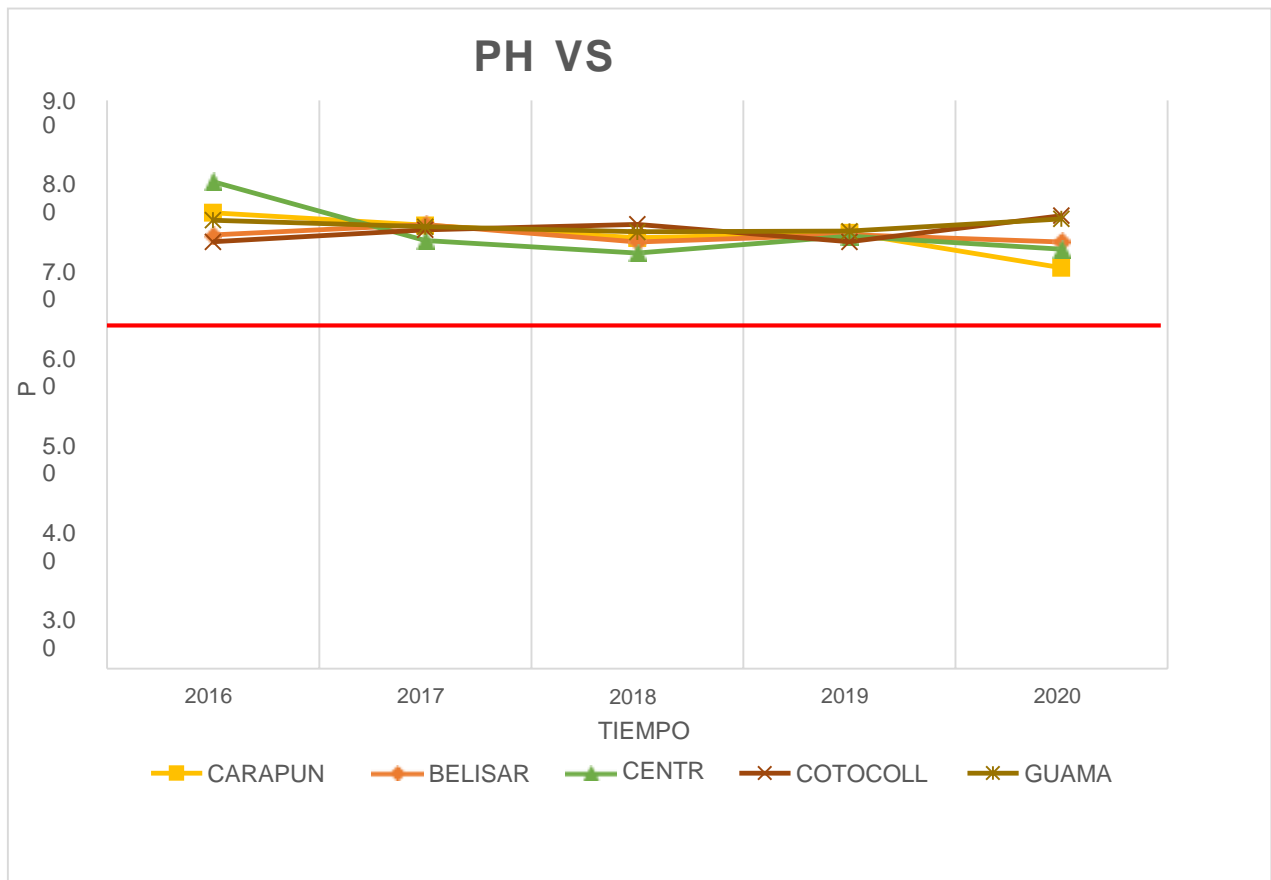


E3



ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Grafico 11. Proyección del pH vs el Tiempo para los años 2016 – 2017 – 2018 – 2019 - 2020



Discusión

Una vez obtenidos los resultados podemos verificar que primeramente al fijarnos en la Tabla 3, vemos la correlación entre los dos contaminantes NO_2 - SO_2 para cada estación y año dándonos como resultado una buena estimación ya que la mayoría de datos se acercan a 1 y el más bajo se da en el año 2019 en la estación de Cotocollao con 0.82 y el valor más alto se da en el mismo año 2019 en la estación Belisario, esto nos demuestra básicamente que los dos contaminantes se relacionan entre sí y a su vez los dos inciden en

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

la formación de agua lluvia por lo que si son altas las concentraciones de estos, puede que el sector sea propenso a sufrir lluvia acida.

Así mismo cabe resaltar el ajuste que tienen las variables con valores también cercanos a 1 como se ve en la Tabla 3, lo que nos demuestra que el modelo utilizado es fiable y podemos proceder a trabajar en el análisis de los datos.

Al final del análisis se reflejó resultados interesantes en cuanto a que está pasando con el fenómeno de lluvia acida en la ciudad de Quito generalmente es grato poder decir que la ciudad no ha sufrido, ni está en la actualidad sufriendo el fenómeno de lluvia acida de manera constante ya que los pH más bajos registrados fueron en el mes septiembre en las estaciones Belisario, Carapungo y Cotocollao con un pH de 5.0 como se vio en el grafico (1,3,7) y se confirma en el anexo (1,2,4) este suceso se dio en el año 2016, el segundo hallazgo sucedió en la estación del centro en el mes de agosto del año 2016 seguido del mes de abril en el año 2018 con un pH de 5.5 en las dos ocasiones, hablando de promedios anuales se demostró que no existe valores por debajo del 5.6 lo cual se corrobora con el estudio realizado sobre lluvia acida en la ciudad de Quito cuyo autor es Daniel Pazmiño en el año 2007 determino que el promedio de pH era de 6.34 (Vernaza, 2007), aunque el presente estudio va desde el año 2016 podemos estimar que en el pasado la ciudad tampoco tenía problemas graves con el tema de lluvia acida.

Es decir al final para el año 2016 podemos ver que en la mayoría de las estaciones seleccionadas para el análisis hay una coincidencia en el mes de septiembre donde el pH disminuye a 5.0 considerando que existió lluvia acida en ese año y para ese mes, en la sierra justamente encaja con actividades como el retorno a clases según (Educacion, 2016)

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

El análisis temporal de la estación Belisario como muestra en el grafico (1) se notó una relación entre los máximos y mínimos de NO_2 - SO_2 Y pH sin embargo la relación debería ser inversa con respecto a los contaminantes, una alta concentración de NO_2 - SO_2 debería de disminuir el pH haciéndolo más ácido y no al contrario, en esta estación existen puntos donde se cumple esta relación pero son mínimos respecto a la muestra total.

En la estación Carapungo existe el mismo fenómeno los máximos de concentración de coinciden con los picos más altos de pH cuando debería ser al revés, también se pudo evidenciar una falta de datos lo que perjudica un análisis más detallado, el hallazgo en esta estación es al notar en punto número 9 donde existe una subida en la concentración tanto de NO_2 - SO_2 y estas coinciden con la baja del pH a 5.0 el más bajo véase en el grafico (3) sucede también en el punto número 19,23,35 con bajas de pH no tan significativas pero que concuerdan con la hipótesis plantada.

En la estación centro por otro lado se vio en el punto 9 y 28 dos bajas significativas de 5.5 por debajo del umbral de 5.6 por lo que se consideran acidas véase el grafico (5), en esta estación el patrón general de máximos y mínimos si concuerda con la hipótesis.

En la estación Cotocollao gráficamente hablando se nota fluctuaciones muy abruptas, la que más destaca es la baja de pH a 5.0 en el punto número 9 que concuerdan con una alta concentración de NO_2 - SO_2 véase el grafico(7).

Por último la estación Guamani aunque no presento bajos niveles de pH para considerar que existe lluvia acida podemos notar que si existe una relación entre las altas concentraciones de NO_2 - SO_2 con la disminución de pH como veremos en el grafico (9) en los puntos 1, 13, 17, 23,35, y 49.

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

En el año 2017 por otro lado el pH más bajo que se obtuvo es 6.78 véase el anexo (8) en la estación del centro aquí es significativo los datos que se obtuvieron del grafico (5) debido a que son los más altos registrados provocando la disminución del pH, un dato que sobresale en esta estación es la gran afluencia de vehículos que existe, por ser el centro de la ciudad y coincide con el estudio de (Farinango, 2011) donde el centro es una de las zonas de conflicto por la alta concentración de NO_2 - SO_2 .

Finalmente el grafico (11) muestra la proyección del pH contra el tiempo, evidentemente no existe anualmente valores que bajen por el nivel de 5.6 para considerar que existe lluvia acida, por otro lado se sabe que los contaminantes atmosféricos son transportados fácilmente por las corrientes de vientos y es un hecho que este problema ambiental puede extenderse de ser puntual a cubrir toda una área metropolitana según (Granados Sánchez et al., 2010).

El otro posible problema de contaminación planteado durante la investigación fue la incidencia que tiene el NO_2 en la formación de ozono troposférico según (Cuevas Agulló, 1995) para ello de igual manera se generó promedios mensuales y se los contrapuso con los datos obtenidos de NO_2 dándonos como resultado en la primera estación de Belisario una línea de tendencia alcista lo que significa que la recta está uniando los mínimos sucesos relevantes, generalmente se vio que si existe concordancia entre los máximos de los dos compuestos véase el grafico (2).

En la estación Carapungo la línea de tendencia es bajista, además los puntos concuerdan con los máximos y mínimos de ambas concentraciones lo que significa la incidencia de uno contra el otro véase el grafico (4). En la estación centro se obtuvo una

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

línea casi recta sin embargo se siguió notando la superposición de los picos altos y bajos. En la estación Cotocollao la línea fue alcista y a diferencia de las otras se pudo notar al final de los puntos 37 al 39 y 44 al 48 que existió valores atípicos por parte del NO_2 véase el grafico (8). Al final en la estación de Guamani grafico (10) la línea de tendencia también coincidió con ser casi recta y generalmente se notó nuevamente la semejanza de los máximos y mínimos de concentraciones de los dos compuestos

Conclusiones

Al final del análisis se pudo concluir que en la ciudad de Quito todavía no se produce lluvia acida generada por los contaminantes NO_2 - SO_2 debido a que el pH más bajo que se pudo encontrar es de 6.35 en la estación de monitoreo Carapungo ubicada en el norte de la ciudad.

Cuando se realiza un análisis más profundo hacia los niveles de pH que hubieron en los promedios mensuales se observa claramente que sin existe meses con presencia de lluvia o deposiciones acidas, pero específicamente para este estudio fue necesario el manejo de promedios anuales por la cantidad excesiva de datos lo cual no iba a permitir hacer el análisis espacial geoestadístico.

Analizar cinco años seguidos y verificar en los promedios anuales que no hubo un pH inferior al 5.6 se puede afirmar al menos que en este lapso de tiempo Quito no ha sufrido de este fenómeno, sin embargo si el ritmo de vida acelerado y consumista sigue en ascenso en pocos años este panorama podría cambiar ya que si es una ciudad de gran afluencia vehicular.

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

El hecho que hasta el momento Quito no ha evidenciado los efectos de la lluvia acida en grandes proporciones como en otros países como China, Canadá y EEUU los cuales son potencias de primer mundo, no significa que este excepto, y por tanto se debe cuidar muy minuciosamente la evolución que va teniendo el fenómeno para de ser posible mitigarlos con medidas preventivas antes que la población empiece a enfermar y en conjunto la naturaleza en general.

Con la pandemia causada por el COVID-19 en el año 2020 se evidencio una notable baja en el movimiento vehicular, esto debido a la suspensión de todas las actividades no esenciales y posterior confinamiento, en esta época el mundo entero evidencio como el ser humano interviene en los procesos naturales de la tierra , no solo se registraron niveles bajos de contaminación atmosférica , sino que además la fauna empezó a salir y movilizarse por las ciudades , lo que confirma el miedo que han ido adquiriendo las especies de animales a los seres humanos.

Lo que resulto en un impacto positivo para el medio ambiente con la disminución de flujo vehicular al final resulto en un incremento de unidades de vehículos adquiridas y puestos en marcha por la presencia del virus en el ambiente y debido a que uno de los factores de contagio es el contacto directo, la población entera ha evitado las reuniones guardando un distanciamiento social, por lo que el autobús uno de los medios masivos de movilidad se está evitando y con ello vino un incremento en la adquisición de un vehículo personal para movilizarse a distintas actividades diarias como el trabajo.

La utilización de herramientas de geo procesamiento es una idea que ayuda a desarrollar y procesar los datos de mejor manera, en este estudio brindo una forma clara y

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

precisa del comportamiento de los datos y con ello fue más factible el análisis, a futuro de igual manera puede ayudar a la toma de decisiones principalmente porque nos direcciona a ver como actúa el fenómeno de manera puntual y local.

Con la revisión bibliográfica sobresalió otro problema causado por la presencia de NO₂ la cual es la generación de ozono troposférico y una vez analizado los datos se llegó a la conclusión que si está teniendo una influencia directa, lo cual puede llegar afectar a la salud humana, fauna y vegetación de no ser tratada a tiempo en el cuadro (1) se evidencia los máximos permisibles dada por la OMS.

Recomendaciones

Seguir con el estudio de lluvia acida en la ciudad de Quito ya que efectivamente cada año son más las personas que deciden emigrar por razones económicas y este aumento masivo puede provocar a futuro la acumulación de vehículos llegando a saturar las vías y provocando un aumento en la concentración de compuestos de origen antropológico nocivos para la salud humana.

Bibliografía

Arco, I. Z. (2010). *Metereología y Climatología*. Madrid: Imprime y encuaderna :Grafo ,S.A.

A. Rodriguez, et. al. (2005). Lluvia ácida y sus efectos. *Lluvia Acida*, 1–14.

<http://www.divulgameteo.es/uploads/Lluvia-ácida.pdf>

Camilloni, I., & Vera, C. (2003). Ciencias Naturales “La Atmósfera.” *Explora: Las Ciencias En*

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

El Mundo Contemporáneo, 1, 16.

<http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002316.pdf>

Coba, G. (13 de Mayo de 2021). *www.primicias.ec*. Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/produccion-nacional-vehiculos-mercado-ecuador/>

Constitución del Ecuador. (n.d.).

Cuevas Agulló, E. (1995). *studio del comportamiento del ozono troposférico en el observatorio de Izaña (Tenerife) y su relación con la dinámica atmosférica*. Obtenido de <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-ozono-troposferico.html>

Del, M., & Metropolitano, C. (n.d.). *Augusto Barrera Guarderas Augusto Barrera Guarderas*.

Dolores, M., & Malagón, E. (n.d.). *MEDIO AMBIENTE Y*.

Ecología y Medio Ambiente en el siglo XXI por Julia Carabias, Jorge A. Meave, Teresa

Valverde, Zenon Cano Santana.pdf. (n.d.).

Educacion, M. d. (2016). Obtenido de <https://educacion.gob.ec/>

Farinango, K. (2011). *Determinación de los niveles de pH, conductividad, sulfatos y nitratos en muestras de agua lluvia, recolectadas en sectores de alta, mediana y baja contaminación ambiental atmosférica del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/4678/TESIS.pdf?sequence=3>

FIGUEIRAS, A. L. (25 de Agosto de 2015). *www.elmundo.es*. Obtenido de <https://www.elmundo.es/cronica/2015/08/25/55d77ee746163f8a2e8b4590.html>

Flores, R., & Bonilla, P. (2017). Perfil de la Lluvia Ácida en la Ciudad de Quito (Ecuador)

Durante los Meses de Diciembre-2008 y Enero-2009. *Química Central*, 1(1), 27–34.

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

<https://doi.org/10.29166/quimica.v1i1.1192>

Garcés Giraldo, L., & Hernández Ángel, M. (2004). La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(2), 67–72.

Globe, A. (2005). *Investigación de la Atmósfera Un Vistazo a la Investigación*.

Granados Sánchez, D., López Ríos, G. F., & Hernández García, M. Á. (2010). La Lluvia Ácida Y Los Ecosistemas Forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, XVI(2), 187–206. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.04.022>

Han, L., Zhou, W., Pickett, S. T. A., Li, W., & Qian, Y. (2018). Multicontaminant air pollution in Chinese cities. *Bulletin of the World Health Organization*, 96(4), 233-242E.

<https://doi.org/10.2471/BLT.17.195560>

INEC. (2010). Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. *Fascículo Provincial Pichincha*, 0–7.

Medio ambiente y la salud: un desafío Environment and health: a challenge Ambiente e saúde: um desafio Resumen Resumo Introducción. (2016). 2, 225–234.

OMS, O. Y. (26 de Mayo de 2017). *La salud y medio ambiente en la era del desarrollo sostenible*. Obtenido de https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=13378:health-environment-in-age-of-sustainable-development&Itemid=42354&lang=es

Química, D. D. E. I. (1997). *Modelización y análisis de las concentraciones de ozono troposférico*.

Sanchez Yunga, L. P., & Zuñiga Guzhñay, A. P. (2018). *Análisis de la contaminación de gases de vehículos tipo L1 y L3, mediante el muestreo de emisiones para la determinación de*

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

niveles de contaminación en la ciudad de Loja.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15315/4/UPS-CT007535.pdf>

Vallejo, M. A. (s.f.). *Estudio Comparativo del Uso del Diesel Entre Europa y Ecuador, Utilizado para Motores de Vehículos.* . Obtenido de
file:///C:/Users/Pc/Desktop/tesis/bibliografia/azufre%20cotenido.pdf

Vega, D., Ocaña, L., & Parra Narváez, R. (2015). Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 7(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v7i2.270>

Vernaza, D. A. (2007). *Determinación de la influencia de la contaminación ambiental atmosférica en los niveles de pH y sólidos totales disueltos del agua lluvia del centro del Distrito Metropolitano de Quito.* DMQ. Obtenido de
file:///C:/Users/Pc/Desktop/tesis/bibliografia/tesis%20determinacion.pdf

Warrett, E. P. (2006). *FUNDAMENTOS DE LA ECOLOGÍA*. México: Thomson .

Ziemke, J. R., Chandra, S., Labow, G. J., Bhartia, P. K., Froidevaux, L., Witte, J. C., Technology, S., Space, G., Sciences, G. E., & Systems, S. (2011). *and Physics A global climatology of tropospheric and stratospheric ozone derived from Aura OMI and MLS measurements.* 9237–9251. <https://doi.org/10.5194/acp-11-9237-2011>

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Anexos

Anexo 1. Tabla de promedio anuales para el año 2016 estación Belisario

2016	NO2	SO2	pH
	BELISARIO		
enero	28.84	5.69	6.8
febrero	28.78	4.60	6.9
marzo	30.06	3.97	7.5
abril	25.24	4.15	7.0
mayo	20.76	3.21	6.0
junio	19.72	3.90	7.7
julio	23.42	3.81	7.0
agosto	21.35	2.95	7.2
septiembre	28.01	4.00	5.0
octubre	31.15	5.46	
noviembre	29.25	5.48	6.7
diciembre	32.94	4.90	7.8
PROMEDIO	26.63	4.34	6.9

Anexo 2. Tabla de promedio anuales para el año 2016 estación Carapungo

2016	NO2	SO2	pH
	CARAPUNGO		
enero	19.98	5.45	7.1
febrero	18.25	3.14	7.0
marzo	20.27	2.17	7.6
abril	19.49	2.50	7.0
mayo	18.26	3.17	
junio	42	3.46	
julio	22.72	2.08	9.4
agosto	23.40	3.82	7.5
septiembre	27.34	6.13	5.0
octubre	23.67	2.91	7.3
noviembre	21.12	3.52	
diciembre	24.60	3.73	
PROMEDIO	23.32	3.51	7.2

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Anexo 3. Tabla de promedio anuales para el año 2016 estación Centro

2016	NO2	SO2	pH
	CENTRO		
enero	26.05	5.17	
febrero	29.62	4.22	
marzo	30.04	3.46	
abril	29.99	3.37	
mayo	29.46	3.04	6.5
junio	22.77	3.30	9.5
julio	23.81	3.16	9.5
agosto	23.62	1.82	5.5
septiembre	39.32	2.82	8.5
octubre	34.33	3.52	
noviembre	31.14	5.51	
diciembre	33.92	6.05	6.9
PROMEDIO	29.50	3.79	7.7

Anexo 4. Tabla de promedio anuales para el año 2016 estación Cotocollao

2016	NO2	SO2	pH
	COTOCOLLAO		
enero	16.60	2.08	7.5
febrero	16.75	2.14	6.8
marzo	17.91	2.36	
abril	21.76	3.77	6.8
mayo	18.97	4.50	6.0
junio	22.05	4.49	7.7
julio	22.86	4.33	6.7
agosto	22.13	2.63	7.2
septiembre	29.06	3.13	5.0
octubre	26.69	2.82	7.2
noviembre	25.01	3.19	
diciembre	26.58	3.11	
PROMEDIO	22.20	3.21	6.8

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Anexo 5. Tabla de promedio anuales para el año 2016 estación Guamani

2016	NO2	SO2	pH
	GUAMANI		
enero	24.62	3.72	6.0
febrero	23.80	2.38	6.6
marzo	24.87	2.72	7.7
abril	22.90	2.55	7.2
mayo	20.47	2.95	7.0
junio	22.81	2.19	7.9
julio	18.11	2.33	7.2
agosto	15.98	2.45	7.8
septiembre	21.55	3.42	6.0
octubre	26.66	4.69	7.0
noviembre	25.09	4.55	6.9
diciembre	23.94	4.17	7.9
PROMEDIO	22.57	3.18	7.1

Anexo 6. Tabla de promedio anuales para el año 2017 estación Belisario

2017	NO2	SO2	pH
	BELISARIO		
enero	26.33	3.45	7.3
febrero	26.10	3.55	6.8
marzo	14.68	3.41	7.3
abril	25.61	2.40	7.5
mayo	24.83	2.16	7.4
junio	23.63	2.19	6.9
julio	18.09	2.85	7.2
agosto	24.98	2.92	6.6
septiembre	25.68	2.56	6.7
octubre	24.05	2.36	7.0
noviembre	25.73	3.50	6.6
diciembre	21.94	2.73	7.3
PROMEDIO	23.47	2.84	7.03

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Anexo 7. Tabla de promedio anuales para el año 2017 estación Carapungo

2017	NO2	SO2	pH
	CARAPUNGO		
enero	19.51	1.55	7.5
febrero	18.85	1.34	6.8
marzo	22.77	1.58	7.1
abril	22.91	2.32	7.5
mayo	19.77	2.18	7.4
junio	25.47	3.09	6.4
julio	24.47	2.85	7.0
agosto	28.59	3.14	6.6
septiembre	29.01	2.11	
octubre	27.49	2.50	7.8
noviembre	25.89	3.36	6.3
diciembre	19.96	1.67	6.9
PROMEDIO	23.73	2.31	7.02

Anexo 8. Tabla de promedio anuales para el año 2017 estación Centro

2017	NO2	SO2	pH
	CENTRO		
enero	28.75	3.19	7.1
febrero	26.63	2.18	7.0
marzo	33.59	2.31	6.7
abril	28.49	3.35	6.5
mayo	26.52	3.69	7.3
junio	27.81	6.41	6.6
julio	21.65	6.23	6.3
agosto	27.56	5.91	7.1
septiembre	30.50	4.00	6.9
octubre	30.17	2.60	6.8
noviembre	31.93	3.23	6.8
diciembre	27.65	2.30	6.4
PROMEDIO	28.44	3.79	6.78

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Anexo 9. Tabla de promedio anuales para el año 2017 estación Cotocollao

2017	NO2	SO2	pH
	COTOCOLLAO		
enero	21.17	2.19	7.1
febrero	18.76	1.10	6.6
marzo	21.36	0.13	6.8
abril	17.85	1.17	7.2
mayo	17.58	1.02	6.7
junio	14.71	1.93	7.4
julio	12.74	1.53	6.5
agosto	13.87	1.72	6.6
septiembre	25.67	1.85	6.7
octubre	25.13	1.96	7.6
noviembre	26.09	2.67	6.9
diciembre	21.78	1.28	7.3
PROMEDIO	19.73	1.55	6.95

Anexo 10. Tabla de promedio anuales para el año 2017 estación Guamani

2017	NO2	SO2	pH
	GUAMANI		
enero	25.03	2.21	6.9
febrero	25.45	0.90	7.0
marzo	30.63	1.03	6.7
abril	25.15	2.89	7.2
mayo	22.23	1.56	7.2
junio	18.39	2.59	6.7
julio	11.44	2.00	8.0
agosto	18.57	2.44	7.3

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

septiembre	19.96	2.03	6.9
octubre	23.74	1.89	6.9
noviembre	26.79	2.10	6.5
diciembre	22.58	2.31	6.8
PROMEDIO	22.50	2.00	7.00

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Anexo 11. Tabla de promedio anuales para el año 2018 estación Belisario

2018	NO2	SO2	pH
	BELISARIO		
enero	25.23	2.21	6.2
febrero	27.49	1.92	6.5
marzo	33.37	3.84	7.5
abril	29.87	3.40	7.5
mayo	26.69	3.61	6.9
junio	24.16	4.10	6.6
julio	23.74	3.29	6.9
agosto	20.65	2.06	6.6
septiembre	30.21	2.19	6.4
octubre	39.20	6.69	6.3
noviembre	35.41	4.21	6.9
diciembre	26.49	2.47	6.8
PROMEDIO	28.54	3.33	6.76

Anexo 12. Tabla de promedio anuales para el año 2018 estación Carapungo

2018	NO2	SO2	pH
	CARAPUNGO		
enero	21.56	1.57	6.3
febrero	15.95	0.85	6.3
marzo	21.05	2.50	7.5
abril	18.54	2.33	
mayo	16.21	2.83	7.0
junio	17.54	2.71	6.8
julio	18.57	2.70	7.1
agosto	20.40	2.23	7.0
septiembre	22.77	2.23	7.0
octubre	25.57	5.16	6.8
noviembre	20.80	2.55	6.5
diciembre	17.42	1.65	6.7
PROMEDIO	19.70	2.44	6.82

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Anexo 13. Tabla de promedio anuales para el año 2018 estación Centro

2018	NO2	SO2	pH
	CENTRO		
enero	29.25	2.14	6.5
febrero	24.28	2.15	6.8
marzo	32.14	5.80	7.5
abril	27.14	5.09	5.5
mayo	26.14	5.06	6.5
junio	24.92	4.81	6.6
julio	23.33	3.76	6.5
agosto	21.58	2.94	7.0
septiembre	27.63	3.24	6.4
octubre	36.83	8.07	6.3
noviembre	33.34	5.47	7.0
diciembre	24.55	3.77	6.3
PROMEDIO	27.59	4.36	6.58

Anexo 14. Tabla de promedio anuales para el año 2018 estación Cotocollao

2018	NO2	SO2	pH
	COTOCOLLAO		
enero	23.63	1.50	8.3
febrero	18.19	1.01	7.4
marzo	23.20	1.66	7.5
abril	21.78	1.76	7.0
mayo	17.21	1.73	7.0
junio	18.88	2.58	6.8
julio	20.70	1.91	6.8
agosto	20.71	1.50	6.7
septiembre	25.22	1.80	6.7
octubre	26.87	2.90	6.9

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

noviembre	22.9 4	2.28	6.5
diciembre	18.9 8	3.06	6.8
PROMEDIO	21.5 3	1.98	7.04

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Anexo 15. Tabla de promedio anuales para el año 2018 estación Guamani

2018	NO2	SO2	pH
	GUAMANI		
enero	22.42	2.39	7.1
febrero	20.01	1.12	6.5
marzo	24.41	1.93	7.5
abril	21.08	1.91	7.5
mayo	22.11	2.95	7.0
junio	15.03	2.12	7.4
julio	13.46	2.00	6.8
agosto	11.55	1.74	6.8
septiembre	18.14	1.63	6.6
octubre	28.56	4.53	6.6
noviembre	29.95	4.41	6.7
diciembre	21.40	3.21	6.6
PROMEDIO	20.68	2.49	6.92

Anexo 16. Tabla de promedio anuales para el año 2019 estación Belisario

2019	NO2	SO2	pH
	BELISARIO		
enero	25.15	2.17	6.9
febrero	27.42	2.37	7.2
marzo	30.48	2.92	6.2
abril	27.29	2.76	7.9
mayo	24.82	2.57	6.4
junio	21.01	2.19	6.7
julio	22.71	2.50	6.7
agosto	20.11	2.03	7.6
septiembre	28.00	2.43	6.9
octubre	28.99	2.96	6.5
noviembre	27.61	2.48	6.9
diciembre	27.67	2.54	6.8
PROMEDIO	25.94	2.49	6.88

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Anexo 17. Tabla de promedio anuales para el año 2019 estación Carapungo

2019	NO2	SO2	pH
	CARAPUNGO		
enero	16.30	1.68	6.8
febrero	15.98	1.28	7.3
marzo	21.72	1.29	6.2
abril	20.31	1.71	7.2
mayo	17.99	2.21	7.0
junio	17.41	2.38	6.4
julio	20.01	2.13	6.7
agosto	21.43	2.02	8.5
septiembre	24.95	2.49	6.9
octubre	20.04	2.08	6.8
noviembre	16.28	2.05	6.6
diciembre	17.90	2.55	6.4
PROMEDIO	19.20	1.99	6.90

Anexo 18. Tabla de promedio anuales para el año 2019 estación Centro

2019	NO2	SO2	pH
	CENTRO		
enero	22.44	3.70	6.4
febrero	25.74	3.51	7.0
marzo	31.12	3.58	6.2
abril	31.12	3.72	7.8
mayo	26.32	3.01	6.6
junio	22.02	1.71	6.8
julio	20.66	2.64	6.5
agosto	17.96	1.38	7.6
septiembre	26.47	2.63	7.0
octubre	26.69	3.10	6.9
noviembre	25.41	2.35	6.9
diciembre	26.04	2.51	6.7
PROMEDIO	25.17	2.82	6.85

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Anexo 19. Tabla de promedio anuales para el año 2019 estación Cotocollao

2019	NO2	SO2	pH
	COTOCOLLAO		
enero	7.63	2.72	6.9
febrero	4.79	2.57	6.6
marzo	8.54	2.45	6.2
abril	6.68	1.78	6.8
mayo	14.70	1.64	6.6
junio	16.78	1.51	6.4
julio	17.06	1.26	6.5
agosto	5.25	0.89	8.2
septiembre	7.96	1.69	7.0
octubre	6.50	1.81	6.8
noviembre	5.84	1.95	6.6
diciembre	6.43	2.40	6.5
PROMEDIO	9.01	1.89	6.76

Anexo 20. Tabla de promedio anuales para el año 2019 estación Guamani

2019	NO2	SO2	pH
	GUAMANI		
enero	18.56	5.40	7.0
febrero	20.44	2.24	6.6
marzo	21.50	2.41	6.5
abril	19.25	1.89	7.2
mayo	15.56	1.58	7.1
junio	12.00	1.78	6.8
julio	11.89	1.87	6.8
agosto	8.12	1.15	7.5
septiembre	14.20	1.72	6.8
octubre	17.16	2.26	6.9
noviembre	19.06	2.11	7.1
diciembre	19.98	2.27	6.8

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

PROMEDIO	16.48	2.22	6.93
----------	-------	------	------

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Anexo 21. Tabla de promedio anuales para el año 2020 estación Belisario

2020	NO2	SO2	pH
	BELISARIO		
enero	21.90	2.99	6.9
febrero	28.67	3.34	6.7
marzo			
abril			
mayo			
junio			
julio			
agosto			
septiembre			
octubre			
noviembre			
diciembre			
PROMEDIO	25.28	3.16	6.76

Anexo 22. Tabla de promedio anuales para el año 2020 estación Carapungo

2020	NO2	SO2	pH
	CARAPUNGO		
enero	16.53	2.02	6.1
febrero	19.59	1.98	6.6
marzo			
abril			
mayo			
junio			
julio			
agosto			
septiembre			
octubre			
noviembre			
diciembre			
PROMEDIO	18.06	2.00	6.35

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Anexo 23. Tabla de promedio anuales para el año 2020 estación Centro

2020	NO2	SO2	pH
	CENTRO		
enero	22.11	2.27	6.6
febrero	28.35	2.39	6.7
marzo			
abril			
mayo			
junio			
julio			
agosto			
septiembre			
octubre			
noviembre			
diciembre			
PROMEDIO	25.23	2.33	6.64

Anexo 24. Tabla de promedio anuales para el año 2020 estación Cotocollao

2020	NO2	SO2	pH
	COTOCOLLAO		
enero	6.00	1.43	7.5
febrero	7.54	1.83	6.8
marzo			
abril			
mayo			
junio			
julio			
agosto			
septiembre			
octubre			
noviembre			
diciembre			
PROMEDIO	6.77	1.63	7.18

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LOS NIVELES DE pH DE LA LLUVIA
ÁCIDA EN LA CIUDAD DE QUITO EN EL PERIODO 2016 – 2020

Anexo 25. Tabla de promedio anuales para el año 2020 estación Guamani

2020	NO2	SO2	pH
	GUAMANI		
enero	14.5 7	1.98	7.6
febrero	21.3 6	2.81	6.7
marzo			
abril			
mayo			
junio			
julio			
agosto			
septiembre			
octubre			
noviembre			
diciembre			
PROMEDIO	17.9 7	2.40	7.13