



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

“EFECTO DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA FORESTAL EN LA
CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE QUITO”

Autora

Daniela Andrea Villacís Valle

Año
2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

“EFECTO DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA FORESTAL EN LA
CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE QUITO”

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

Profesor Guía

Ph.D. Rasa Zalakeviciute

Autora

Daniela Andrea Villacís Valle

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Efecto de los cambios de la cobertura Forestal en la calidad del aire de la ciudad de Quito, a través de reuniones periódicas con la estudiante, Daniela Andrea Villacís Valle, 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 Zalakeviciute
Doctor in Environmental Engineering
C. C.1757076797

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber dirigido el trabajo, Efecto de los cambios de la cobertura Forestal en la calidad del aire de la ciudad de Quito, a través de reuniones periódicas con la estudiante, Daniela Andrea Villacís Valle, 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”.

Viviana Pavlova Sigcha Terán
Máster en Gestión Integral del Agua
C.C. 172221616 - 3

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

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

Daniela Andrea Villacís Valle
C.C. 0604080721

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mi familia, a la Ph.D. Rasa Zalakeviciute por sus importantes comentarios y sugerencias, al Msc. Alejandro Yasser por su valioso tiempo.

Este proyecto se pudo realizar gracias a la información que el Centro de Investigaciones y Hábitat sostenible de la Universidad Tecnológica Indoamérica me proporcionó, para cumplir a cabalidad los objetivos de la tesis, bajo la dirección del Ph.D. Santiago Bonilla B. y la Msc. Angélica Vaca,

A la Ph.D. Magdalena López, por toda la motivación y soporte brindado.

DEDICATORIA

A mi familia con la cual comparto día a día mi caminar, y su amor incondicional siempre.

A mis maestros por compartir su aprendizaje a lo largo de mi carrera.

RESUMEN

La presente investigación fue realizada en el Cantón Quito provincia de Pichincha y tiene como objetivo principal evaluar las variaciones de cobertura forestal y su relación con algunos atributos de calidad de aire durante un periodo de diez años. Para el análisis de la cobertura forestal se utilizaron imágenes satelitales Landsat de los años 2007 y 2017, en base a ello se realizaron análisis comparativos para determinar el incremento o disminución de la masa forestal en el transcurso del período de estudio, y a su vez estableciendo la relación existente con la calidad del aire en la ciudad de Quito. Se realizó, además, el procesamiento de datos obtenidos de la Secretaria de Ambiente de los diez años de estudio, para realizar una correlación y determinar si existe un efecto directo entre los cambios dados en la cobertura forestal y su influencia en la calidad del aire, y a partir de ello gestionar una mejor planificación del territorio y sus espacios verdes. En general se pudo concluir que existe un incremento de la masa forestal, ya sea de tipo arbustiva o bosques con excepciones específicas de decrecimiento en algunas zonas en el caso de la arbustiva; paralelamente, la correlación definida entre las dos variables de estudio, mostró que existe una disminución de los contaminantes como consecuencia del incremento de masa forestal. Es importante manifestar que el estudio es un aporte significativo como referente para tomar medidas de mitigación ante el incremento de contaminantes en ciudades con condiciones similares a la ciudad de Quito.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the Canton Quito province of Pichincha and its main objective is to evaluate the variations of forest cover and its relationship with some attributes of air quality during a period of ten years. For the analysis of the forest cover, Landsat satellite images of the years 2007 and 2017 were used, based on this, comparative analyzes were carried out to determine the increase or decrease of the forest mass during the study period, and in turn establishing the existing relationship with air quality in the city of Quito. It was also carried out the processing of data obtained from the Environment Secretariat of the ten years of study, to perform a correlation and determine if there is a direct effect between the changes given in the forest cover and its influence on air quality, and from this, manage a better planning of the territory and its green spaces. In general, it could be concluded that there is an increase in the forest mass, whether of shrub type or forests with specific exceptions of decrease in some areas in the case of shrubs; In parallel, the correlation defined between the two study variables showed that there is a decrease in pollutants as a consequence of the increase in forest mass. It is important to state that the study is a significant contribution as a reference to take mitigation measures against the increase of pollutants in cities with similar conditions to the city of Quito.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. GENERALIDADES	1
1.1. Introducción.....	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general:	4
1.2.2. Objetivos específicos:	4
1.3. Alcance.....	4
1.4. Justificación.....	5
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Glosario.....	7
2.2. El medio ambiente y la contaminación	8
2.3. Contaminación atmosférica	9
2.3.1 Dióxido de azufre (SO ₂) y derivados	12
2.3.2. Óxidos de nitrógeno (NO _x)	12
2.3.3. Ozono (O ₃).....	13
2.3.4. Monóxido de carbono.....	14
2.3.5. Material Particulado (PM).....	15
2.4. El bosque nativo en el Ecuador.....	16
2.5. La deforestación.....	17
2.5.1. La deforestación en el Ecuador.....	18
2.5.2 Sistemas de Información Geográfica	22
2.6. Teledetección.....	23
2.7. Sensores y satélites espaciales	23
2.7.1. Imágenes satelitales	24
2.7.2 Procesamiento de imágenes satelitales.....	25
2.7.3. Satélites Landsat.....	25
2.8 Clasificación de las imágenes satelitales	26
2.8.1. Supervisada	26

2.8.2. No supervisada	27
2.8.3. ENVI Classic	27
3. CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	27
3.1. Caracterización de la zona de estudio.....	27
3.2. Descripción de las Estaciones de la ciudad de Quito	29
3.3. Obtención y procesamiento de imágenes satelitales	31
3.3.1. Recopilación de la información cartográfica.....	31
3.3.2. Recopilación de información satelital y fotografía de área	31
3.3.3. Pre procesamiento de imágenes.....	32
3.3.4. Clasificación de Imágenes Satelitales (ARCGIS).....	33
3.3.5. Creación de buffers o áreas de influencia.....	35
3.4. Obtención y procesamiento de datos sobre calidad del aire por estación y año.....	35
4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS	41
4.1. Imágenes Satelitales.....	41
4.2. Descripción Estaciones de monitoreo de Calidad de aire.....	47
5. CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
5.1 Análisis de correlación.....	63
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	115
6.1 Conclusiones.....	115
6.2 Recomendaciones	116
REFERENCIAS	117
ANEXOS	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contaminantes secundarios	10
Tabla 2. Combinación de los contaminantes atmosféricos	11
Tabla 3. Deforestación acumulada en (ha)	20
Tabla 4. Tasa de deforestación de acuerdo a las regiones del país	21
Tabla 5. Resultados de la deforestación principales provincias	21
Tabla 6. Características del satélite Landsat.....	26
Tabla 7. Datos de cuantificación de contaminantes de la estación Belisario ...	50
Tabla 8. Datos de cuantificación de contaminantes de la Cotocollao.....	51
Tabla 9. Datos de cuantificación de contaminantes de la estación Centro	54
Tabla 10. Datos de cuantificación de contaminantes de la estación Camal.....	56
Tabla 11. Datos de cuantificación de contaminantes de la estación Guamaní. 59	
Tabla 12 Datos de cuantificación contaminantes de la estación Carapungo ...	61
Tabla 13. Promedios de contaminantes por estación 2007.....	62
Tabla 14. Promedios de contaminantes por estación 2017.....	62
Tabla 15. Correlación CO: Arbustiva Estación Belisario	66
Tabla 16. Correlación CO: Bosque Estación Belisario	67
Tabla 17. Correlación O ₃ : Arbustiva Estación Belisario.....	68
Tabla 18. Correlación O ₃ : Bosque Estación Belisario	69
Tabla 19. Correlación PM _{2.5} : Arbustiva Estación Belisario	70
Tabla 20. Correlación PM _{2.5} : Bosque Estación Belisario	71
Tabla 21. Correlación SO ₂ : Arbustiva Estación Belisario	72
Tabla 22. Correlación SO ₂ : Arbustiva Estación Belisario	73
Tabla 23. Correlación CO: Arbustiva Estación Carapungo	75
Tabla 24. Correlación CO: Bosque Estación Carapungo	76
Tabla 25. Correlación O ₃ : Arbustiva Estación Carapungo.....	77
Tabla 26. Correlación O ₃ : Bosque Estación Carapungo	78
Tabla 27. Correlación PM _{2.5} : Arbustiva Estación Carapungo	79
Tabla 28. Correlación PM _{2.5} : Bosque Estación Carapungo	80
Tabla 29. Correlación SO ₂ : Arbustiva Estación Carapungo	81
Tabla 30. Correlación SO ₂ : Bosque Estación Carapungo	82
Tabla 31. Correlación CO: Arbustiva Estación Cotocollao	83

Tabla 32. Correlación CO: Bosque Estación Cotocollao	84
Tabla 33. Correlación O ₃ : Arbustiva Estación Cotocollao.....	85
Tabla 34. Correlación O ₃ : Bosque Estación Cotocollao	86
Tabla 35. Correlación PM _{2.5} : Arbustiva Estación Cotocollao	87
Tabla 36. Correlación PM _{2.5} : Bosque Estación Cotocollao.....	88
Tabla 37. Correlación SO ₂ : Arbustiva Estación Cotocollao	89
Tabla 38. Correlación SO ₂ : Bosque Estación Cotocollao	90
Tabla 39. Correlación NO ₂ : Arbustiva Estación Cotocollao	91
Tabla 40. Correlación NO ₂ : Bosque Estación Cotocollao.....	92
Tabla 41. Correlación CO: Arbustiva Estación Centro Histórico.....	94
Tabla 42. Correlación CO: Bosque Estación Centro Histórico	95
Tabla 43. Correlación O ₃ : Arbustiva Estación Centro Histórico.....	96
Tabla 44. Correlación O ₃ : Bosque Estación Centro Histórico.....	97
Tabla 45. Correlación PM _{2.5} : Arbustiva Estación Centro Histórico	98
Tabla 46. Correlación PM _{2.5} : Bosque Estación Centro Histórico	99
Tabla 47. Correlación SO ₂ : Arbustiva Estación Centro Histórico	100
Tabla 48. Correlación SO ₂ : Bosque Estación Centro Histórico	101
Tabla 49. Correlación CO: Arbustiva Estación Guamaní	102
Tabla 50. Correlación CO: Bosque Estación Guamaní	103
Tabla 51. Correlación O ₃ : Arbustiva Estación Guamaní.....	104
Tabla 52. Correlación O ₃ : Bosque Estación Guamaní	105
Tabla 53. Correlación CO: Arbustiva Estación El Camal.....	107
Tabla 54. Correlación CO: Bosque Estación El Camal	108
Tabla 55. Correlación O ₃ : Arbustiva Estación El Camal.....	109
Tabla 56. Correlación O ₃ : Bosque Estación El Camal.....	110
Tabla 57. Correlación PM _{2.5} : Arbustiva Estación El Camal	111
Tabla 58. Correlación PM _{2.5} : Bosque Estación El Camal	112
Tabla 59. Correlación SO ₂ : Arbustiva Estación El Camal.....	113
Tabla 60. Correlación SO ₂ : Bosque Estación El Camal	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de la contaminación.	9
Figura 2. Nivel de fragmentación de la cobertura forestal Ecuador.....	16
Figura 3. Tasa de deforestación y la regeneración en ha/año por país del mundo durante el periodo 2005-2010.	19
Figura 4. Deforestación en el Ecuador 2000-2016.....	20
Figura 5. Elementos de la teledetección.	23
Figura 6. Delimitación del área de estudio de la ciudad de San Francisco de Quito.....	28
Figura 7. Mapa de Estaciones Meteorológicas del área de estudio de la ciudad.....	30
Figura 8. Ejemplo de procesamiento de la Estación de Belisario desde el año 2006.....	37
Figura 9. Ejemplo de Tabla dinámica de datos mensuales del año 2007	38
Figura 10. Ejemplo de tabla dinámica de datos mensuales del año 2017.....	39
Figura 11. Tabla unificada mensual de los once años procesados	40
Figura 12. Mapa de Imágenes Satelitales 2007 – 2017	42
Figura 13. Mapa de las clasificaciones supervisadas.....	44
Figura 14. Mapa de clasificación buffers 2007-2017.....	46
Figura 15. Comparativo de uso de tierra en un radio de 1500 metros alrededor de la Estación Belisario.....	48
Figura 16. Comparativo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes de calidad de aire de los años 2007 y 2017 de la Estación Belisario.	49
Figura 17. Tasa de Crecimiento de uso de la Tierra periodo 2007 y 2017 de la Estación Belisario.	49
Figura 18. Porcentaje (%) de disminución de los contaminantes de la Estación Belisario.	49
Figura 19. Comparativo de uso de tierra en un radio de 1500 metros alrededor de la Estación Cotocollao.....	51
Figura 20. Comparativo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes de calidad de aire de los años 2007 y 2017 de la Estación Cotocollao	51

Figura 21. Tasa de Crecimiento de uso de la Tierra periodo 2007 y 2017 de la Estación Cotocollao.	51
Figura 22. Porcentaje (%) de disminución de los contaminantes Estación Cotocollao.	52
Figura 23. Comparativo de uso de tierra en un radio de 1500 metros alrededor de la Estación Centro Histórico.	53
Figura 24. Comparativo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes de calidad de aire de los años 2007 y 2017 de la Estación Centro Histórico	53
Figura 25. Tasa de Crecimiento de uso de la Tierra periodo 2007 y 2017 de la Estación Centro Histórico.	54
Figura 26. Porcentaje (%) de disminución de los contaminantes de la Estación Centro Histórico.	54
Figura 27. Comparativo de uso de tierra en un radio de 1500 metros alrededor de la Estación El Camal.	55
Figura 28. Comparativo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes de calidad de aire de los años 2007 y 2017 de la Estación El Camal	55
Figura 29. Tasa de Crecimiento de uso de la Tierra periodo 2007 y 2017 de la Estación El Camal.	56
Figura 30. Porcentaje (%) de disminución de los contaminantes de la Estación El Camal.	56
Figura 31. Comparativo de uso de tierra en un radio de 1500 metros alrededor de la Estación Guamaní.	57
Figura 32. Comparativo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes de calidad de aire de los años 2007 y 2017 de la Estación Guamaní.	58
Figura 33. Tasa de Crecimiento de uso de la Tierra periodo 2007 y 2017 de la Estación Guamaní.	58
Figura 34. Porcentaje (%) de disminución de los contaminantes Estación Guamaní.....	58
Figura 35. Comparativo de uso de tierra en un radio de 1500 metros alrededor de la Estación Carapungo.	59
Figura 36. Comparativo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes de calidad de aire de los años 2007 y 2017 de la Estación Carapungo	60

Figura 37. Tasa de Crecimiento de uso de la Tierra periodo 2007 y 2017 de la Estación Carapungo	60
Figura 38. Porcentaje (%) de disminución de los contaminantes de la Estación Carapungo	60
Figura 39. Correlación CO: Arbustiva Estación Belisario	66
Figura 40. Correlación CO: Bosque Estación Belisario	67
Figura 41. Correlación O ₃ : Arbustiva Estación Belisario.....	68
Figura 42. Correlación O ₃ : Bosque Estación Belisario	69
Figura 43. Correlación PM _{2.5} : Arbustiva Estación Belisario	70
Figura 44. Correlación PM _{2.5} : Bosque Estación Belisario.....	71
Figura 45. Correlación SO ₂ : Arbustiva Estación Belisario	72
Figura 46. Correlación SO ₂ : Arbustiva Estación Belisario	73
Figura 47. Correlación CO: Arbustiva Estación Carapungo	74
Figura 48. Correlación CO: Bosque Estación Carapungo	75
Figura 49. Correlación O ₃ : Arbustiva Estación Carapungo.....	76
Figura 50. Correlación O ₃ : Bosque Estación Carapungo	77
Figura 51. Correlación PM _{2.5} , Arbustiva Estación Carapungo	78
Figura 52. Correlación PM _{2.5} : Bosque Estación Carapungo.....	79
Figura 53. Correlación SO ₂ : Arbustiva Estación Carapungo	80
Figura 54. Correlación SO ₂ : Bosque Estación Carapungo	81
Figura 55. Correlación CO: Arbustiva Estación Cotocollao	83
Figura 56. Correlación CO: Bosque Estación Cotocollao	84
Figura 57. Correlación O ₃ : Arbustiva Estación Cotocollao	85
Figura 58. Correlación O ₃ : Bosque Estación Cotocollao	86
Figura 59. Correlación PM _{2.5} : Arbustiva Estación Cotocollao.....	87
Figura 60. Correlación PM _{2.5} : Bosque Estación Cotocollao.....	88
Figura 61. Correlación SO ₂ : Arbustiva Estación Cotocollao	89
Figura 62. Correlación SO ₂ : Bosque Estación Cotocollao.....	90
Figura 63. Correlación NO ₂ : Arbustiva Estación Cotocollao.....	91
Figura 64. Correlación NO ₂ : Bosque Estación Cotocollao.....	92
Figura 65. Correlación CO: Arbustiva Estación Centro Histórico	93
Figura 66. Correlación CO: Bosque Estación Centro Histórico	94

Figura 67. Correlación O ₃ : Arbustiva Estación Centro Histórico.....	95
Figura 68. Correlación O ₃ : Bosque Estación Centro Histórico	96
Figura 69. Correlación PM _{2.5} : Arbustiva Estación Centro Histórico	97
Figura 70. Correlación PM _{2.5} : Bosque Estación Centro Histórico.....	98
Figura 71. Correlación SO ₂ : Arbustiva Estación Centro Histórico	99
Figura 72. Correlación SO ₂ : Bosque Estación Centro Histórico	100
Figura 73. Correlación CO: Arbustiva Estación Guamaní	102
Figura 74. Correlación CO: Bosque Estación Guamaní	103
Figura 75. Correlación O ₃ : Arbustiva Estación Guamaní.....	104
Figura 76. Correlación O ₃ : Bosque Estación Guamaní	105
Figura 77. Correlación CO: Arbustiva Estación El Camal	106
Figura 78. Correlación CO: Bosque Estación El Camal	107
Figura 79. Correlación O ₃ : Arbustiva Estación El Camal.....	108
Figura 80. Correlación O ₃ : Bosque Estación El Camal.....	109
Figura 81. Correlación PM _{2.5} : Arbustiva Estación El Camal	110
Figura 82. Correlación PM _{2.5} : Bosque Estación El Camal	111
Figura 83. Correlación SO ₂ : Arbustiva Estación El Camal	112
Figura 84. Correlación SO ₂ : Bosque Estación El Camal	113
Figura 85. Datos obtenidos del contaminante de Monóxido de Carbono (CO).....	124
Figura 86. Contaminante de Ozono Troposférico (O ₃)	126
Figura 87. El contaminante de Partículas menores a 2,5 micrómetros (PM _{2.5})	128
Figura 88. El contaminante de Partículas menores a 2,5 micrómetros (PM _{2.5})	131
Figura 89 y 90. Ejemplo de Comparación de la imagen Landsat del año 2007 con la del año 2017 del área del antiguo Aeropuerto “Mariscal Sucre” del Distrito de Quito.....	131
Figura 91. Mapa de comparación del uso de suelo del período 2007 y 2017 de la Estación de Monitoreo Belisario.....	132
Figura 92. Mapa de comparación del uso de suelo del período 2007 y 2017 de la Estación de Monitoreo Cotocollao.	133

Figura 93. Mapa de comparación del uso de suelo del período 2007 y 2017 de la Estación Centro Histórico	133
Figura 94. Mapa de comparación del uso de suelo del período 2007 y 2017 de la Estación El Camal.....	134
Figura 95. Mapa de comparación del uso de suelo del período 2007 y 2017 de la Estación Guamaní	134
Figura 96. Mapa de comparación del uso de suelo del período 2007 y 2017 de la Estación Carapungo	135

1. CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. Introducción

1.1.1. Antecedentes

El incremento de la contaminación en la atmósfera constituye un gran problema a nivel mundial, principalmente en los países en vías de desarrollo. Debido a las altas concentraciones de contaminantes emitidos al aire, que ocasionan daños a los ecosistemas, a la salud de la población y alteran al clima del planeta.

El crecimiento de las ciudades, genera un desequilibrio geobioquímico ya que estas son responsables de la emisión de más del 70% de los gases de efecto invernadero, consumiendo un 75 % de la energía total y generando más del 70% de los residuos globales (UN-HÁBITAT, 2015). Esto ha formado un conjunto de factores que ha ocasionado daños visibles, con el medio y su entorno (Secretaría de Ambiente, 2016).

Aproximadamente el 80% de las personas que viven en zonas urbanas, se encuentran expuestas a niveles de calidad de aire fuera de los límites fijados por la Organización Mundial de la Salud, siendo un riesgo a corto y largo plazo para la salud de los seres vivos y el ambiente (OMS, 2016). Un alto porcentaje de los cambios en la composición química del aire, se debe al incremento de sustancias contaminantes antropogénicas, como por ejemplo: hidrocarburos, partículas suspendidas, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno entre otros (Universidad Técnica de Machala, 2012).

Frente a esta problemática se realizan análisis y monitoreos de la contaminación atmosférica mediante redes, a través de las cuales es posible determinar las zonas de mayor contaminación por segmentos, como: procesos productivos, movilización vehicular y depósitos residuales (Glenn & Osseiran, 2014).

El aumento progresivo de la concentración de gases de efecto invernadero principalmente del dióxido de carbono (CO₂), uno de los más peligrosos según

el boletín de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2017), debido a que este gas llegó a alcanzar el nivel más alto de contaminación esperado en 800.000 años, emanó a una velocidad récord alcanzada en el año 2016, donde sus bruscos y notorios cambios observados en los últimos 70 años no tienen precedentes (OMM, 2017).

En el Ecuador, la primera instalación de la red de monitoreo de calidad de aire fue creada en la ciudad de Quito en el año 2003, iniciando su funcionamiento con disposición de información validada desde Enero del 2004 (Secretaría de Ambiente, 2016).

Esta red anualmente es validada mediante procedimientos internacionales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) y de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2017). La información generada desde el año 2004, se encuentra disponible en la página web de la Secretaría Metropolitana de Ambiente del Municipio de Quito (<http://www.quitoambiente.gob.ec/>), la cual proporciona datos históricos anuales, servicios e información actualizada de la realidad ambiental y de monitoreo (Municipio del Distrito Metropolitano, 2018).

El crecimiento poblacional de Ecuador según el INEC para el año 2020 se estima será del 1.5%, por lo cual se proyecta una población de 17'530,643 de habitantes (INEC, 2010). La ciudad Quito por su situación geográfica y crecimiento demográfico presenta un acelerado incremento poblacional, es así que en el año 1974 existían 625.000 habitantes y para el año 2010 esta cifra ascendió a 1'607.734 habitantes de acuerdo al censo realizado en el dicho año, y se prevé que en el 2020 se duplicará la población del cantón a 2'781.641 habitantes (INEC, 2010).

El incremento poblacional tiene impactos en la evolución de la mancha urbana, provocando que el número de predios haya tenido un ascenso de 422.356 viviendas del año 1998 a 794.154 viviendas en el año 2014 en el sector urbano (Municipio del Distrito Metropolitano, 2014).

El aumento de construcciones demandadas en las ciudades se convierte en una carga más para el ecosistema, reduciendo su capacidad de proveer servicios y beneficios. No obstante, la ciudad de Quito cuenta con 21.6 m²/hab de áreas verdes que, de acuerdo a la OMS, es superior al parámetro internacional de 9 m²/habitante de área verde (OMS, 2017).

Las dos administraciones zonales urbanas de la ciudad que cuentan con mayor espacio de áreas verdes son la Administración zonal Eloy Alfaro con 216 ha, y la Administración zonal Eugenio Espejo con 204 ha. En esta última se ubican dos de los parques más extensos; el parque Metropolitano Guanguiltagua y el parque La Carolina (Jácome, 2017). De acuerdo con los datos generados por la empresa Pública Metropolitana de Obras Públicas, en todo el Distrito Metropolitano, existen aproximadamente 1631 ha, entre áreas verdes y parques (INEC, Presentación del Índice Verde Urbano, 2010). Sin embargo, en el Plan Metropolitano de Desarrollo 2012 - 2022 se pretende incrementar un 40% de la superficie de áreas verdes en toda la ciudad (5900 ha) (Municipio Metropolitano de Quito, 2012).

A pesar de esto, el área urbana no cumple con parámetros de continuidad geográfica en áreas verdes, que es un requerimiento para establecer corredores biológicos, que garanticen la conservación de especies de flora, fauna y que cumplan con el rol de preservar la calidad de aire de la ciudad. Espacios verdes que prestan servicios ecosistémicos como lo demostraron Wu, Hou, & Yuan, (2010), en su estudio del capital forestal en la municipalidad de Beijing – China, mencionan que los bienes y servicios ecosistémicos y forestales, y las existencias de capital natural que los producen, representan aportaciones directas e indirectas considerables para las economías de los países y para el bienestar humano (Wu, Hou, & Yuan, 2010).

Por lo expuesto anteriormente esta investigación pretende analizar la relación entre la cobertura forestal y las concentraciones de los atributos que miden la calidad del aire, en la ciudad de Quito. Estudio que se lo realizará en dos periodos de tiempo en los años 2007 y 2017. Información con estas características es fundamental para el desarrollo urbano de la ciudad, la

planificación de sus áreas verdes para la conservación de los bosques urbanos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general:

Examinar el efecto de los cambios de la cobertura forestal en la calidad del aire de la ciudad de Quito durante el período 2007- 2017.

1.2.2. Objetivos específicos:

Estimar los cambios del área forestal la ciudad de Quito, entre los años 2007 y 2017.

Analizar las variaciones en las concentraciones de SO₂, NO₂, O₃, CO y PM_{2.5} en la ciudad de Quito para los años 2007 y 2017.

Determinar las relaciones existentes entre los cambios de cobertura forestal y las variaciones de la calidad del aire de Quito.

1.3. Alcance

La presente investigación pretende determinar el efecto de los cambios que genera la cobertura forestal en la calidad del aire de la ciudad de Quito, en el período comprendido entre el año 2007 y 2017; para ello se utilizaron herramientas de teledetección y se estimó un área de estudio de aproximadamente tres kilómetros, alrededor de cada estación de monitoreo de calidad de aire, enfocados específicamente en remanentes boscosos y de vegetación arbustiva.

Establecer las variaciones de la cobertura vegetal y su relación con las variaciones de algunos atributos de calidad de aire durante el período de diez años, permite forjar criterios para una mejor planificación del territorio y la gestión de sus espacios verdes.

Mediante la información estadística de los datos obtenidos en las seis Estaciones escogidas dentro del área de estudio de la ciudad de Quito, se analizaron los datos máximos, mínimos, promedios y desviación estándar; para posteriormente analizar la incidencia existente entre las dos variables de estudio.

Al acoplar estos dos resultados se obtuvieron las tendencias que permitieron determinar los cambios realizados a través del tiempo en la cobertura forestal y su efecto en la calidad del aire.

1.4. Justificación

El potencial deterioro de la calidad del aire en Quito, contribuiría paulatinamente al incremento de afectaciones en la salud de los pobladores (Secretaría de Ambiente del Municipio del DMQ, 2015). El incremento de los niveles de contaminación del aire de Quito, y la reducción de la cobertura forestal tiene como consecuencia una liberación del carbono que fue capturado con anterioridad, contribuyendo así a los cambios climáticos globales, viéndose desfavorecido por las condiciones meteorológicas, topográficas, y uso de combustibles fósiles de baja calidad usados a nivel industrial y automotriz, generando un incremento en la vulnerabilidad de desastres naturales.

La reducción de precipitación promueve la permanencia de los contaminantes en la atmósfera y la generación de incendios forestales, aumentando la concentración de gases efecto invernadero en la tropósfera (Secretaría del Ambiente, 2010). De acuerdo a los informes del cuerpo de bomberos, se registró una pérdida de 205, 29 y 426 ha de bosque causados por incendios en los años 2007, 2008, 2009 respectivamente, a través del procesamiento de imágenes satelitales, la Secretaría de Ambiente concluyó que en el año 2009 el área afectada por incendios corresponde a 2704 ha, en este año se registró 65 % menos de la pluviosidad correspondiente al año 2008 (Parra Narváez, Díaz Suarez, Pallango Fernandez , & et al, 2009).

En adición, el acelerado crecimiento del parque automotor, se constituye en otra fuente de contaminación, debido a la combustión incompleta que se desprende por estar ubicada a 2850 msnm donde la situación geográfica favorece la acumulación de gases en la tropósfera.

El incremento del parque automotor en la ciudad de Quito desde el año 1998 al 2015 fue de casi un 50%, para el año 2016 el número aumento alrededor de 400.000 vehículos, y actualmente la cifra llega a unos 432.000 vehículos aproximadamente.

Los impactos de la contaminación del aire causada por los incrementos de contaminantes atmosféricos como monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), Material Particulado _{2.5} (PM_{2.5}), sustancias que favorecen la formación de ozono troposférico (O₃) y que provocan afecciones respiratorias, cardiovasculares, dermatológicas, cáncer, entre otras enfermedades a la población y daños al ecosistema físico.

El ser humano en respuesta a estos procesos ocasionados por la actividad antrópica ha tratado de medir, evaluar y aminorar el impacto de las causas de esta crisis (Monroy, 2010). En muchos países existen propuestas entre ellas está la plantación de árboles e incremento de áreas forestales como una medida de alivio o atenuante para purificar el aire, regular la humedad y temperatura, entre otros servicios (Yang et al, 2005; Ellis et al, 2005 & American Forest, 2007). Estudios realizados en Nueva York, mencionan que los arboles eliminaron aproximadamente 1.821 toneladas métricas de contaminantes atmosféricos por medio de bosques urbanos (American Forest, 2007).

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Glosario

Dióxido de Azufre (SO₂): es un elemento químico de color amarillo pálido y olor desagradable, que se encuentra en la naturaleza tanto en forma libre como combinado con otros elementos.

Deforestación: cambio, la degradación o la completa eliminación de los bosques. Además, es una actividad humana tan vieja como la civilización misma.

Dióxido: compuesto conformado por una molécula que dispone de dos átomos de oxígeno.

ENVI Classic: es un software que sirve para generar el procesamiento de datos a través de un procesamiento de imágenes satelitales, que tiene una trama generalizada que consiste en un archivo binario plano y un archivo de encabezado, determinando ciertos atributos dentro de la imagen, generando valores numéricos.

Monóxido de carbono (CO): el monóxido de carbono es un gas incoloro no irritante sin olor o sabor. Es determinado como una molécula poco reactiva y en consecuencia no encierra un riesgo directo para la vegetación o para los materiales.

Óxidos de nitrógeno (NOX): es un gas incoloro y poco soluble en agua, presente en pequeñas cantidades en los mamíferos. Está también extendido por el aire siendo producido en automóviles y plantas de energía. Se considera un agente tóxico.

Oxígeno (O₂): es un elemento químico gaseoso, de número atómico.

Ozono (O₃): el Ozono (O₃) es una molécula relativamente inestable compuesta de tres átomos de oxígeno (O).

Partícula: es un pequeño objeto del cual se le atribuyen una serie de propiedades físicas y químicas.

Sensores: es todo aquello que tiene una propiedad sensible a una magnitud del medio, y al variar esta magnitud también varía con cierta intensidad la propiedad, es decir, manifiesta la presencia de dicha magnitud, y también su medida.

Satélite: es un objeto artificial situado en órbita alrededor de la tierra, que permite la representación visual de datos tomados desde la superficie de la Tierra con más precisión y detalle.

Teledetección: la teledetección es la técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material.

2.2. El medio ambiente y la contaminación

La Tierra se encuentra expuesta a numerosos contaminantes que perjudican el bienestar y la salud de quienes lo habitamos. En este contexto un problema preocupante que inquieta a nivel mundial es principalmente la contaminación ambiental por ser un riesgo para la salud (Secretaría del Ambiente, 2016).

Las principales causas que agravan la contaminación se ven explícitas bajo diferentes criterios como son: la industria, el mal uso de la energía, el alto crecimiento vehicular, entre otros. Son estos los mayores contaminantes urbanos que a diario expulsan grandes cantidades al aire de gases y material particulado, tóxicos perjudiciales para la salud y el entorno. Jiménez (2017, pp.32-43), menciona que se entiende por contaminación a la presencia de sustancias tóxicas que son consideradas nocivas para todo ser vivo, y el ambiente.

Existen varios estudios, realizados por la universidad de Berkeley sobre la realidad del cambio climático, de cómo los efectos de cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe han deteriorado grandes áreas con la deforestación y gran parte de los sistemas hidrológicos generando una retribución negativa en las zonas donde habitan las especies terrestres y

marítimas publicado por la CEPAL en el año 2012. Esto ha causado un impacto en el aspecto climático estableciendo nuevos rasgos de contaminación.

Existen distintos tipos de contaminación. Entre los más destacados se encuentran aquellos que afectan directamente a los recursos naturales del planeta, como son principalmente el aire, el suelo y el agua (Figura 1). La contaminación del aire se encuentra generada por agentes contaminantes que se encuentran relacionados directamente con el incremento de la población, así como la adquisición de combustibles fósiles, la generación de basura y desechos industriales, ya que al aumentar estos factores alteran los ciclos de resiliencia de los ecosistemas.

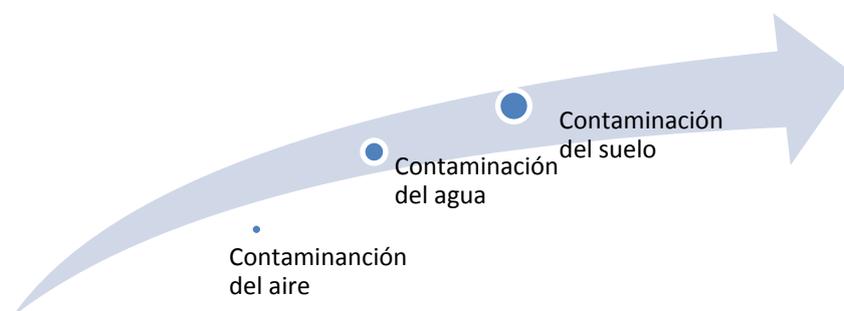


Figura 1. Clasificación de la contaminación.

2.3. Contaminación atmosférica

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia de una sustancia o material sumamente peligroso encontrada en la troposfera, causando afectaciones negativas en la misma (Carnicer, 2016). Existe una gran variedad de contaminantes atmosféricos con respecto a la naturaleza física, ya sea por su origen natural, o generados por procesos antropogénicos, en cantidades suficientes para provocar efectos nocivos sobre la salud humana, vegetación, bienes y/o ambiente global (Banegas, 2016).

El número de sustancias contaminantes de la atmósfera es muy elevado y suele ser frecuente clasificarlas según el estado físico que presentan. De esta manera se puede hablar de dos grandes grupos de contaminantes como son:

- Aerosoles: está compuesto por partículas sólidas y líquidas

- Gases y vapores

Las partículas se subdividen en polvo, humo y niebla según sea su tamaño o su naturaleza física. El polvo está constituido por partículas sólidas dispersas en un medio gaseoso por la desintegración mecánica de materiales. El humo está formado por partículas pequeñas procedentes de la condensación de vapores, de reacciones químicas o de procesos de combustión. Niebla es la suspensión de gotas líquidas formadas por condensación de vapor y, a veces, por atomización. Arciniegas (2017, pp. 65-72), indica que por su evolución en la atmósfera los contaminantes se clasifican en primarios y secundarios; los contaminantes primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera sustancias nocivas para el medio ambiente un ejemplo del mismo es el dióxido de azufre (SO_2), que dañan directamente la vegetación y conocido como un contaminante maligno para las personas debido a que afecta directamente a los pulmones.

Mientras que, los contaminantes secundarios son aquellos que se forman mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmósfera. Las actividades industriales como el incremento ante el uso de automóviles predominan la estructura de procesos determinantes para la proliferación de contaminantes ante la generación de diversas sustancias.

Es importante conocer que los contaminantes secundarios que afectan la contaminación atmosférica, entre los que se encuentran los siguientes:

Tabla 1.
Contaminantes secundarios

Dióxido de azufre	SO_2
Óxido de nitrógeno	NO_x
Ozono troposférico	O_3
Monóxido de carbono	CO
Material Particulado	$\text{PM}_{2.5}$

Nota: Principales contaminantes atmosféricos, y su formulación química

Los efectos que las partículas causan en la salud de las personas, han estado históricamente asociados a la exacerbación de enfermedades de tipo respiratorio, tales como la bronquitis, y más recientemente también se han analizado y demostrado sus efectos sobre dolencias de tipo cardiovascular como se muestra en la (Tabla 2).

Tabla 2.
Combinación de los contaminantes atmosféricos

Contaminantes	Formación/ fuentes	Efecto
SO ₂	S (combustibles)+O ₂ (del → aire) SO ₂ Refinación del petróleo. Industria minero- metalúrgica durante refinación Oxidación de (H ₂ S) de materia orgánica.	Lluvia ácida Neblumo (junto con hidrocarburos y UV) Necrosis de plantas Salud humana
CO	Plantas y organismos marinos Cualquiera combustión Medios de transporte Uso inadecuado de estufas, fogones.	Toxicidad a las vías respiratorias, muerte Calentamiento global
(NO _x)	N ₂ + O ₂ (del aire) → 2NO	Neblumo Lluvia ácida Agotamiento estratosférico Problemas respiratorios
(NH ₂)	Producción de alimentos (excretas de ganado) Océanos (metabolismo de zooplancton) Empleo de abonos sintético	Neutraliza ácido sulfúrico y nítrico. Efecto invernadero (en su forma de ion amonio) Puede contribuir a la acidificación.
PM _{2.5}	Ingredientes principales de las brumas, humos y polvo en suspensión.	Productos químicos orgánicos, metales, el suelo o partículas de polvo y alergeno.

Adaptado de: Contreras 2018, p. 125

La contaminación de cada una de las sustancias químicas atmosféricas tanto primarios como secundarios causa cada vez más efectos negativos en el aire por lo que es cada vez más difícil detener y terminar con estos factores ambientales.

2.3.1 Dióxido de azufre (SO₂) y derivados

Este compuesto también es conocido como un dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso. Es un gas, no inflamable, su periodo de resistencia en la atmósfera es de tres a cuatro días; sin embargo, la permanencia en la atmósfera causa efectos graves siendo uno de los principales contaminantes. Es percibido por el olfato y genera una concentración de hasta 3 ppm (0,003%) (Salvay, 2015, pp. 87-92).

El dióxido de azufre es producido principalmente por la emulsión de gases ante la combustión de procesos industriales, ya sea mediante el tráfico de vehículos, así como calderas de calefacción, si se realiza una combinación de esta sustancia con el agua presente en la atmósfera hace que se establezca la conocida lluvia ácida causante de daños en infraestructuras y construcciones.

Ponce (2017, pp. 72-77) indica que el dióxido de azufre es utilizado de manera diaria en la industria del papel como también de agente blanqueador en la pulpa de madera. Entre los usos que más se destaca este tipo de contaminante es en el aditivo de vino, ya que este permite que se genere levaduras de acción, de igual manera es utilizado para prevenir la oxidación del alcohol.

Los principales efectos derivados de la emisión del dióxido de azufre varían de acuerdo a la concentración y duración. Esta sustancia es principalmente absorbida por el sistema nasal ya que tienen una elevada solubilidad, y puede afectar de manera periódica a la irritación del tracto respiratorio. Igual manera puede causar bronquitis y congestión de los conductos bronquiales, especialmente en personas asmáticas. Además, diversos estudios han demostrado que la exposición crónica a este contaminante induce efectos adversos sobre la mortalidad, la morbilidad y la función pulmonar.

2.3.2. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Ramírez (2016, pp. 88-92), menciona que:

Los óxidos de nitrógeno, están representados por: el monóxido de nitrógeno (NO) así como el dióxido de nitrógeno (NO₂). Ambos están determinados como

tóxicos, aunque ninguno de los dos es inflamable y son incoloras ante su apariencia a temperatura del ambiente. El monóxido de nitrógeno es un gas de olor dulce penetrante a temperatura ambiente, mientras que el dióxido de nitrógeno tiene un fuerte olor desagradable. El monóxido de nitrógeno es importante en el efecto invernadero, así como el dióxido de nitrógeno (NO_2) el mismo que es el principal causante de la lluvia ácida. Tan solo pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno reaccionan ante el agua formando un ácido nítrico. Al liberarse al suelo las sustancias químicas, en pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno pueden evaporarse al aire. Sin embargo, la mayor parte será convertida en ácido nítrico u otros compuestos.

El dióxido de nitrógeno es emitido por sustancias químicas que son generadas a través de la luz solar y esto genera efectos como la formación de ácidos nítricos, uno de los principales componentes de la lluvia ácida. El dióxido de nitrógeno reacciona con la luz solar, lo cual lleva a la formación de ozono y smog en el aire que respiramos.

2.3.3. Ozono (O_3)

El Ozono (O_3) es una molécula relativamente inestable compuesta de tres átomos de oxígeno (O). A pesar de que sólo representa una fracción muy pequeña de la atmósfera, el ozono es indispensable para la vida en la Tierra (Zea , Leon , & Eslava , 2015).

El ozono puede proteger o resultar nocivo para la vida en el planeta Tierra, dependiendo de donde se encuentre. La mayor parte del ozono se encuentra en la estratósfera una capa atmosférica entre 10 y 40 km sobre la superficie, donde actúa como una barrera para proteger la superficie de la Tierra de la perjudicial radiación ultravioleta proveniente del sol. El ozono estratosférico es creado principalmente por la radiación ultravioleta. Cuando rayos ultravioletas de alta energía chocan con moléculas de oxígeno comunes (O_2), las dividen en dos átomos de oxígeno simple, conocido como oxígeno atómico.

Mientras en la troposfera, el O_3 puede causar peligrosos problemas para salud humana y el ecosistema. Las cantidades de ozono estratosférico benigno y

ozono troposférico perjudicial en la atmósfera, dependen del balance entre los procesos que producen ozono y los que lo eliminan. Una alteración del balance de ozono puede tener consecuencias muy serias para la vida en la Tierra. El equilibrio del oxígeno molecular y el ozono se ha mantenido durante cientos de millones de años, pero tan solo en los últimos cien años ha cambiado por las actividades del ser humano.

En la actualidad, científicos han descubierto y han evidenciado que se están produciendo cambios en los niveles de ozono debido a que se está aumentando en el aire que respiramos, grandes cantidades no asimilables, así como existe una disminución del ozono estratosférico (Placeres , Olite , & Alvarez , 2017).

2.3.4. Monóxido de carbono

El monóxido de carbono es un gas incoloro no irritante sin olor o sabor. Es determinado como una molécula poco reactiva y en consecuencia no encierra un riesgo directo para la vegetación o para los materiales. Sin embargo, afecta a los humanos (Vargas, 2016).

El CO tiene la capacidad de unirse con fuerza a la hemoglobina, la proteína que contiene hierro y que es responsable del transporte de oxígeno en la sangre.

En el hombre, el CO interfiere en el transporte de oxígeno por la hemoglobina formándose HbCO en lugar de HbO₂. La afinidad del CO para la coordinación con el ion Fe⁺⁺ de la hemoglobina es 200 veces mayor que la del oxígeno con lo que a presiones parciales relativamente bajas, crea una reacción (Salvay, 2015).

Esta sustancia química es resultante de la combustión incompleta de productos carbonados. La exposición humana genera causantes al ser humano debido a su inhalación ya sea provocado por incendios, y las grandes sustancias tóxicas emanadas por los automóviles. Según (Gómez, 2017), el (CO) se produce como resultado de alguno de los siguientes procesos químicos:

- Combustión incompleta del carbono.
- Reacciones a elevada temperatura entre el CO₂ y materia carbonosa.
- Disociación del CO₂ a altas temperaturas.
- Oxidación atmosférica del metano (CH₄) procedente de la fermentación anaeróbica de la materia orgánica.
- Proceso de producción y degradación de la clorofila en las plantas.

La determinación de los niveles habituales que encontramos permanentemente en las ciudades, los vegetales son sensibles ante esta sustancia a contrario de lo animales que conlleva más efectos negativos. De acuerdo estudios científicos se establece que aparece o actúa directamente sobre las hormonas del crecimiento. Salvo que su concentración supere los 100 ppm, no produce serios efectos negativos sobre las plantas superiores.

2.3.5. Material Particulado (PM)

El Material Particulado respirable presente en la atmósfera de nuestras ciudades en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras) se puede dividir, según su tamaño, en dos grupos principales (Arciniégas, 2017). Según, (Carnicer, 2016) al Material Particulado de las de diámetro aerodinámico igual o inferior a los 10 µm se las denomina PM₁₀ y a la fracción respirable más pequeña, PM_{2.5}.

El PM₁₀, está constituido por aquellas partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a los 2.5 micrómetros, es decir, son 100 veces más delgadas que un cabello humano.

Cada tipo de partículas está compuesto de diferente material y puede provenir de diferentes fuentes. En el caso de las PM_{2.5}, su origen está principalmente en fuentes de carácter antropogénico como las emisiones de los vehículos diésel.

Mientras que, las partículas de mayor tamaño pueden tener en su composición un importante componente de tipo natural, como partículas de polvo procedente de las intrusiones de viento del norte de África, frecuente en nuestras latitudes (Belis, Karaguiyan, Larsen, & Hopke, 2014). Las fuentes

naturales de PM también incluyen las erupciones volcánicas y los incendios naturales.

Aunque estas emisiones son producidas en todo el mundo, existen países donde hay más presencia de estas sustancias y más aún en países industrializados, donde cada vez las emisiones son máximas. En la mayoría de los países del mundo la causa de la emisión procede principalmente de medios de transporte como autobuses, camiones, coches y más aun de la actividad industrial (Belis, Karaguian, Larsen, & Hopke, 2014).

2.4. El bosque nativo en el Ecuador

El bosque nativo de acuerdo a diversos factores integrados, es conocido como uno de los recursos naturales más importantes con los que cuenta el Ecuador para su desarrollo. El bosque nativo se encuentra constituido por una unidad ecosistémica formada por árboles, arbustos y demás especies vegetales y animales resultados de un proceso ecológico espontáneo que interrelaciona otros recursos como el agua, la biodiversidad, el suelo, el aire, el paisaje, etc.

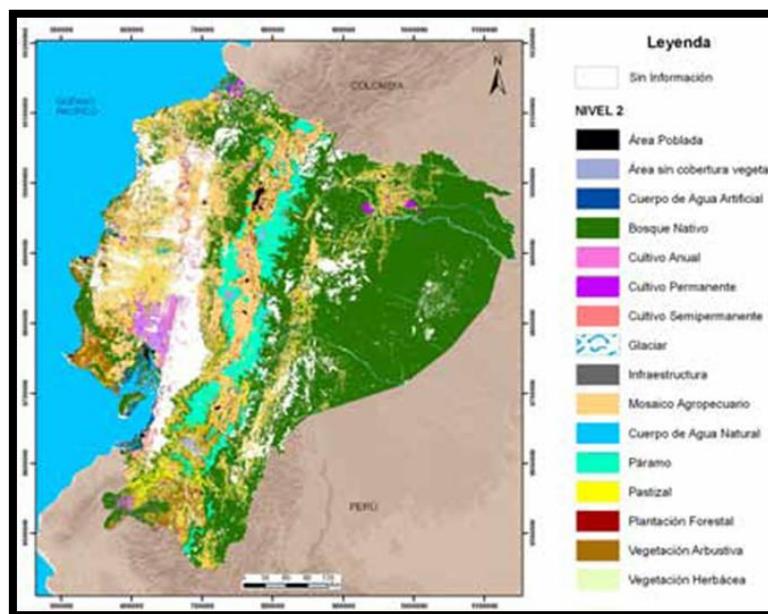


Figura 2. Nivel de fragmentación de la cobertura forestal Ecuador.

Adaptado de: (Pensamiento penal , 2017).

El ritmo de aprovechamiento forestal y la explotación irracional del recurso favorecen aún más la fragmentación y fragilidad de la cobertura forestal.

Según (Villamil, 2017), un ecosistema fragmentado en su estructura y composición es más susceptible a ser convertido al uso agrícola y vulnerable a las distorsiones externas; por consiguiente, es de menor valor social, económico y ambiental para el Ecuador.

Es importante implementar mecanismos que promuevan el manejo sustentable del bosque, que consoliden el sistema de áreas protegidas, que incentiven la conservación de áreas privadas cubiertas con bosque, que restauren ecosistemas degradados y que amplíen la gama de bienes y servicios aprovechables en términos económicos; incentivando así la productividad de los suelos de aptitud agrícola, para liberar espacios que se puedan destinar a la restauración y conservación de ecosistemas.

2.5. La deforestación

La deforestación es el cambio, la degradación o la completa eliminación de los bosques. Desde el apareamiento de la agricultura, la gente ha reemplazado la vegetación nativa con cultivos y espacios para vivir (Pensamiento penal , 2017).

La deforestación, más que la tala de árboles, es un proceso emergente resultado de un conjunto de interacciones entre factores ecológicos, sociales, económicos, y culturales a varios niveles o escalas desde lo local pasando por lo nacional hasta lo global. Como tal, solo puede ser analizada con profundidad con una visión integrativa e interdisciplinaria.

El (Ministerio del Ambiente, 2017), menciona que la deforestación provoca un daño en el ecosistema ya que altera los suministros de agua y calidad de suelo por diferentes usos, hechos que impulsan a que las instituciones gubernamentales elaboren proyectos para el uso adecuado de recursos naturales.

Los procesos del cambio forestal son fundamentales para varios programas de política nacional e internacional de bosques. Muchas organizaciones están involucradas en asuntos del cambio forestal, por tanto, las definiciones son importantes y políticamente sensibles (Vargas, 2016).

Para determinar si la eliminación de árboles en un área corresponde a deforestación, es necesario predecir el desarrollo del área en futuro. Si, por otro lado, una densidad suficiente de árboles no se establece, o si la tierra es convertida a otro uso de suelo, el área se considerará como deforestada. Si nuevos árboles de los bosques se establecen en un futuro relativamente cercano, la tierra se clasifica como bosque a lo largo del periodo de regeneración donde el nuevo crecimiento se llama reforestación.

2.5.1. La deforestación en el Ecuador

En el contexto mundial las regiones más deforestadas son África y Sur América, principalmente Brasil (Ver Figura 3). En Ecuador, aunque la deforestación no es tan agresiva, todavía es una problemática que demanda acciones concretas y sostenibles por parte de las autoridades competentes. Revisando el histórico de la deforestación, se encuentra que para el periodo 2004 – 2008 la deforestación promedio fue de 89.944 ha/año para una tasa de deforestación de -0.71 %, mientras que para el período 2009 - 2014 la deforestación promedio fue de 77.647 ha/año para una tasa de -0.66%. Por otro lado, durante el período 2008-2012 la deforestación fue de 65.880 ha/año para una tasa de -0,54%.

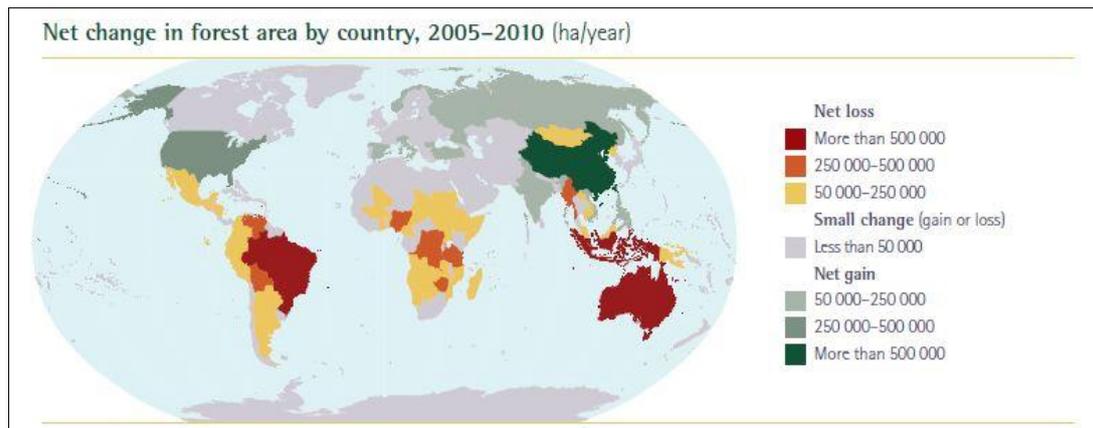


Figura 3. Tasa de deforestación y la regeneración en ha/año por país del mundo durante el periodo 2005-2010.
Adaptado de: (Mariscal, 2014).

Las estimaciones para la deforestación 2013-2018 muestran una tendencia hacia una disminución en la tasa de deforestación. La propensión a la disminución de la deforestación establece un nivel de 55,000 ha de deforestación, la cual se considera la base para la reforestación mínima que debe seguir el MAE en el programa de Restauración Forestal.

A pesar que en los últimos tiempos la extinción se ha establecido como un proceso natural y normal, es evidente como la extinción y tala de árboles en la actualidad ha ido creciendo debido a la especie humana. Estudios realizados por expertos concluyen que una de las causas principales de la extinción es la pérdida a través de la destrucción del hábitat natural de las especies.

Una de las causas principales de la destrucción del hábitat está dado por la tala indiscriminada de árboles utilizados para la industria de madera, otro de los aspectos es el pastoreo, la extracción de petróleo, el crecimiento urbano, los incendios, la agricultura entre otros factores.

La deforestación en el Ecuador se viene dando hace años atrás; sin embargo, comparado con la actualidad los porcentajes de tala de árboles ha crecido de manera significativa.

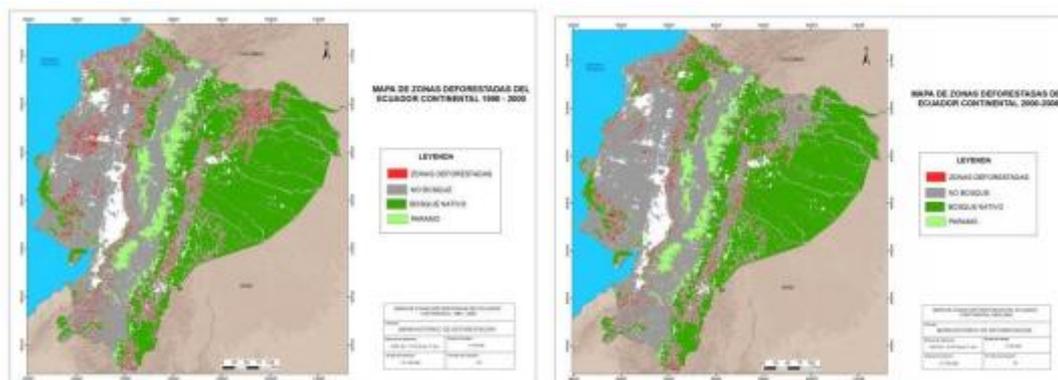


Figura 4. Deforestación en el Ecuador 2000-2016.
Adaptado: del Ministerio del Ambiente, 2016.

Con base en la tendencia de deforestación, se determina que en el período 2013 – 2017 se tendría una deforestación acumulada de 220,000 ha., distribuida como se ilustra en la siguiente tabla.

Tabla 3.
Deforestación acumulada en (ha)

AÑO	SUPERFICIE Ha
2013	55,000
2014	55,000
2015	55,000
2016	55,000
2017	55,000
Deforestación acumulada	220,000

Adaptado del Ministerio del Ambiente Ecuador (2018).

Mediante el cuadro se establece que la deforestación acumulada es de 220.000 entre el período 2013- 2017. El Ministerio del Ambiente de tal manera que pueda llegar a tener que una tasa de deforestación cero. Es decir, que se pueda llevar a cabo un proceso de restauración forestal para conservación que contrarreste la superficie de deforestación que se de en el país.

Tabla 4.

Tasa de deforestación de acuerdo a las regiones del país

Región	1999-2000		2000-2017	
	Tasa anual de cambio (%)	Deforestación anual promedio (ha/año)	Tasa anual de cambio (%)	Deforestación anual promedio (ha/año)
Llanura Amazónica	-0,30	19.768	-0,26	16.430
Vertiente Oriental de los Andes	-0,47	13.009	-0,83	21.501
Vertiente Occidental de los Andes	-1,12	11.068	-1,02	9.027
Valles Interandinos	-0,68	1.895	-0,02	50
Costa	-2,49	37.967	-2,19	25.481
Andes del Sur	-1,19	6.237	-1,17	5.158
Ecuador continental	-0,71	89.944	-0,66	77.647

Nota: Porcentaje de deforestaciones por regiones.

Adaptado de: Ministerio del Ambiente Ecuador (2016)

Para el periodo 2000 – 2017 al igual que el periodo anterior, para hacer una referencia la mayor tasa de deforestación se presentó en la región Costa con un valor de 25.481 ha/año, seguida de la Vertiente Oriental de los Andes, con una tasa deforestación de 21.501 ha/año. El valor más bajo se registró en los Valles Interandinos con 50 ha/año.

Tabla 5.

Resultados de la deforestación principales provincias

Provincia	Período 1990-2000		Período 2000 - 2017	
AZUAY	-1.19	2.080	-0.63	1.058
BOLIVAR	-3,79	2.723	-2,78	1.883
CAÑAR	-2,65	1.261	-5,42	16
CARCHI	-1,05	1.636	-0,06	92
CHIMBORAZO	-0,94	661	-0,81	506
COTOPAXI	-0,93	1.452	-0,53	726
EL ORO	-1,94	3.303	-1,93	2.569
ESMERALDAS	-2,34	17	-2,16	12.485
GUAYAS	-1,34	4.555	-1,49	4.457
“PICHINCHA”	-1,86	4.740	-1,50	3.479
SUCUMBÍOS	-1,99	4.862	-1,76	11.128
ZAMORA CHINCHIPE	-1.98	4.745	-1.82	11.217
ORELLANA	-1.97	4.367	-1.83	12.638

Nota: Principales provincias con problemas de deforestación.

Para el período 1990 – 2000, las provincias con deforestación mayor a 5.000 ha/año fueron: Esmeraldas, Sucumbíos, Zamora Chinchipe, Orellana, Manabí, mientras que para el periodo 2000 - 2017 las provincias fueron Esmeraldas, Morona Santiago y Zamora Chinchipe.

Según el Ministerio del Ambiente del Ecuador (2016), la deforestación en el último año muestra una disminución gracias a proyectos realizados conjuntamente con unidades y gobiernos municipales para apoyar al cuidado del ambiente mediante la siembra de plantas nativas en lugares necesarios.

2.5.2 Sistemas de Información Geográfica

Un sistema de información geográfica se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente en la captura, almacenamiento, análisis, transformación y presentación de toda la información geográfica y sus atributos, con el fin de satisfacer múltiples propósitos (Corona, 2017). Entre las funciones de SIG, es lo siguiente:

- Mantenimiento y análisis de datos espaciales: Transformación de formatos, geometrías, proyecciones, edición de elementos gráficos, generalización de coordenadas.
- Mantenimiento y análisis de datos no espaciales: Funciones de edición de atributos, funciones de consulta.
- Análisis integrado de datos: Recuperación, clasificación, medición, superposición, búsqueda, funciones topográficas, polígonos de Thiessen, interpolación, medición de contigüidad, proximidad, redes, dispersión, vista en perspectiva.
- Formatos de salida: ilustración de mapas, rótulos, textos, patrones texturales, símbolos gráficos.

2.6. Teledetección

La teledetección es la técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material, en nuestro caso se trata de objetos situados sobre la superficie terrestre.

Para que esta observación sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos y el sensor. En este caso la interacción va a ser un flujo de radiación que parte de los objetos y se dirige hacia el sensor.

Este flujo puede ser, en cuanto a su origen, de tres tipos:

- Radiación solar reflejada por los objetos (luz visible e infrarrojo reflejado)
- Radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico)
- Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar)

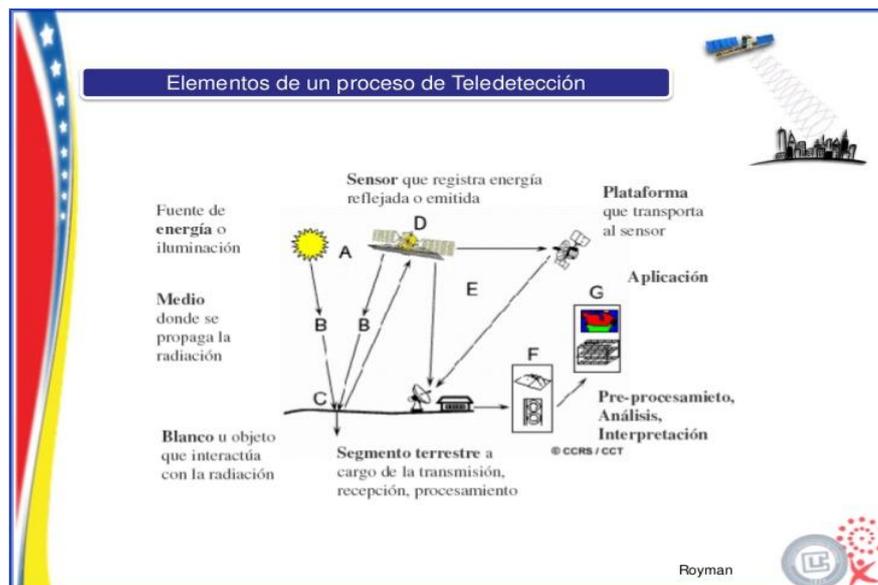


Figura 5. Elementos de la teledetección.
Adaptado de: (Contreras, 2018)

2.7. Sensores y satélites espaciales

Los sensores son instrumentos susceptibles de detectar la señal electromagnética (radiación reflejada o emitida) que les llega de la tierra y la Atmósfera y convertirla en una magnitud física que puede ser tratada y

grabada. Los sensores pueden convertir la señal electromagnética en un formato análogo, fotografía digital o imagen (Liseand, 2016).

Para llevar a cabo la observación del terreno, los sensores son instalados en plataformas, fijas o móviles: grúas, cometas, globos, aviones, cohetes o satélites. Las características de la imagen registrada dependen en gran medida del tipo de sensor utilizado y de la distancia al suelo desde la cual se realiza la adquisición de datos.

Los satélites son naves espaciales que se fabrican en la tierra y son enviados en un vehículo de lanzamiento hacia el espacio exterior, Los satélites pueden orbitar alrededor de cometas, asteroides, planetas o incluso galaxias.

El primer satélite artificial, el Sputnik, fue lanzado por la Unión Soviética el 4 de octubre de 1957. En los años siguientes se lanzaron varios cientos de satélites. El origen de los satélites artificiales está íntimamente ligado al desarrollo de los cohetes que fueron creados, primero, como armas de larga distancia; después, utilizados para explorar el espacio y luego, con su evolución, convertidos en instrumentos para colocar satélites en el espacio.

2.7.1. Imágenes satelitales

Es importante distinguir la diferencia entre imágenes y fotografías en percepción remota. Una imagen es cualquier representación gráfica, sin importar cuales métodos de percepción remota se utilicen para detectar y registrar la energía electromagnética. La energía electromagnética puede ser captada de manera fotográfica o electrónica (León, 2016).

Las fotografías son el resultado de reacciones químicas producidas en la superficie de una película sensible a la luz para detectar y registrar las variaciones en energía. Por esto, se dice que una fotografía constituye un tipo específico de imagen que ha sido detectada y plasmada en una película fotográfica.

La imagen satelital es la representación visual capturada por un sensor enlazado a un satélite artificial, de datos tomados de la superficie de la tierra,

es decir del área donde se pretende hacer el estudio. Los cuales son reflejados y enviados a una estación terrena en donde se procesan y se convierten en imágenes, con la que se puede apreciar las características de la Tierra en diferentes escalas espaciales (INEGI, 2017).

2.7.2 Procesamiento de imágenes satelitales

El procesamiento de imágenes satelitales consiste en una serie de etapas en las cuales se puede obtener mayor precisión en la referencia espacial, extracción de información espectral y radiométrica de una imagen digital. Estos procesos consisten de las siguientes etapas: importación de bandas, composición de las imágenes, georeferenciación de las imágenes, corrección radiométrica y realce de la imagen.

En el análisis visual de una imagen satelital, las bandas de color hacen uso de las capacidades del ojo humano, dependiendo del sistema de gráficos en uso, se deben realizar las combinaciones de las mismas. De acuerdo a Eastman, 2001 la combinación de tipos de bandas.

Se encuentra determinado (5 4 3) para Landsat 7 y (6 5 4) para Landsat 8 van a dar una mejor apreciación de los cambios del uso del suelo (Falconí, 2017). Los satélites dan vueltas alrededor del mundo, obteniendo todas las imágenes del mundo regresando al mismo lugar cada 16 días.

2.7.3. Satélites Landsat

Los satélites LANDSAT llevan a bordo diferentes instrumentos. Su evolución buscó siempre captar más información de la superficie terrestre, con mayor precisión y detalle, de ahí la mejoras radiométricas, geométricas y espaciales que se incorporaron a los sensores pasivos (Liseand, 2016). Landsat tiene un amplio alcance espectral de captación incluyendo bandas en el espectro visible, infrarrojo de ola corta, cercano y térmico, además, incorporará mejoras que permite que las observaciones sean más precisas.

Tabla 6.
Características del satélite Landsat

Atributo	Descripción	
Tipo de producto	Imagen L1T (Precisión, Terrain Corrected) - ortorrectificada	
Formato de Imagen	Archivo Metadato en formato texto	Geo TIFF
Espaciamiento de pixel	15 m 30 m Multiespectral	Pancromático
Bandas Espectrales	1 bandas: Aerosol costero (Coastal Aerosol) 430 – 450 nm Azul (Blue) 450 – 510 nm Verde (Green) 530 – 590 nm Rojo (Red) 640 – 670 nm Infrarrojo cercano (NIR) 850 – 880 nm SWIR 1 (SWIR 1) 1570 –1650 nm SWIR 2 (SWIR 2) 2110 – 2290 nm Pancromático (Pan) 500 – 680 nm Cirrus (Cirrus) 1360 – 1380 nm Infrarrojo térmico (TIRS) 1 10600 – 11190 nm Infrarrojo térmico (TIRS) 2 11500 – 12510 nm	

Nota: Principales características del satélite Landsat.

Adaptado de: (Liseand, 2016).

2.8 Clasificación de las imágenes satelitales

2.8.1. Supervisada

Para realizar una clasificación supervisada es necesario tener conocimiento previo de la zona de estudio. El intérprete identifica las diferentes áreas ya reconocidas en campo. Selecciona las áreas de entrenamiento que van a representar las diferentes coberturas o usos de la zona de estudio (Barrera & García, 2015).

El software utiliza las áreas pre-seleccionadas para agrupar los píxeles de similares características dependiendo de la reflectancia de la información seleccionada y de esta forma establecer los diferentes usos o coberturas del área de estudio.

2.8.2. No supervisada

Esta clasificación no requiere de un conocimiento previo o a priori de la zona, esta cuenta con diferentes algoritmos que clasifican automáticamente los píxeles de cada banda de la imagen en grupos con valores digitales homogéneos o similares formando clases espectrales (Rodríguez, 2016).

2.8.3. ENVI Classic

ENVI Classic usa un formato de datos de trama generalizado que consiste en un simple archivo binario plano y un pequeño archivo de encabezado ASCII (texto) asociado. Este formato de archivo permite que ENVI Classic use casi cualquier archivo de imagen, incluidos aquellos que contienen su propia información de encabezado incrustado (EXELIS, 2014).

Este programa sirve para generar el procesamiento de datos a través de un proceso previo de imágenes satelitales con el fin de poder determinar y conocer ciertos atributos dentro de la imagen seleccionada, la que generará diversos valores numéricos y estos pueden ser cuantificados.

3. CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1. Caracterización de la zona de estudio

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) está ubicado en la provincia de Pichincha al norte del Ecuador, comprende un área de 4.183 km², con una población aproximada de 2.319.671 habitantes según el Censo de Población y Vivienda realizado en el año 2010, que corresponde al 15,5% de la población nacional. Se encuentra limitado al norte con la Provincia de Imbabura, al sur con los cantones Rumiñahui y Mejía, al este con el cantón Pedro Moncayo, Cayambe y la Provincia de Napo y al oeste se ubican los cantones Pedro Vicente Maldonado, Los Bancos y la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Por sus variaciones de altitud y pluviosidad se producen varios tipos de climas, desde clima nival con temperaturas menores a 4 grados, hasta clima lluvioso

de los bosques noroccidentales con temperaturas promedios anuales de 22°C. El clima es variable fluctuando de 25°C en el día a 10°C por la noche (Quito Turismo, 2014). Su altura promedio es de 2.815 msnm y temperatura anual promedio de 14 °C. Por la ubicación en la zona ecuatorial el DMQ tiene un número igual de horas de día y de noche durante todo el año, y presenta solo dos Estaciones, seca del mes de junio a septiembre y época lluviosa de octubre a mayo, abarcando diferentes pisos climáticos y ecosistemas (Municipio de Quito, 2012).

La ciudad posee un relieve irregular, heterogéneo y diverso, ubicada al occidente de la Cordillera de los Andes, como se muestra en la Figura 6, y tiene dimensiones aproximadas de 80 km de largo por 5 km de ancho, con una superficie aproximada de 352 km² y sus coordenadas geográficas son las siguientes: Latitud: -0.225219, Longitud: -78.5248 o 0° 13' 31" Sur, 78° 31' 29" Oeste (DBCity, 2017). El DMQ está distribuido en treinta y dos parroquias urbanas y treinta y tres parroquias rurales.

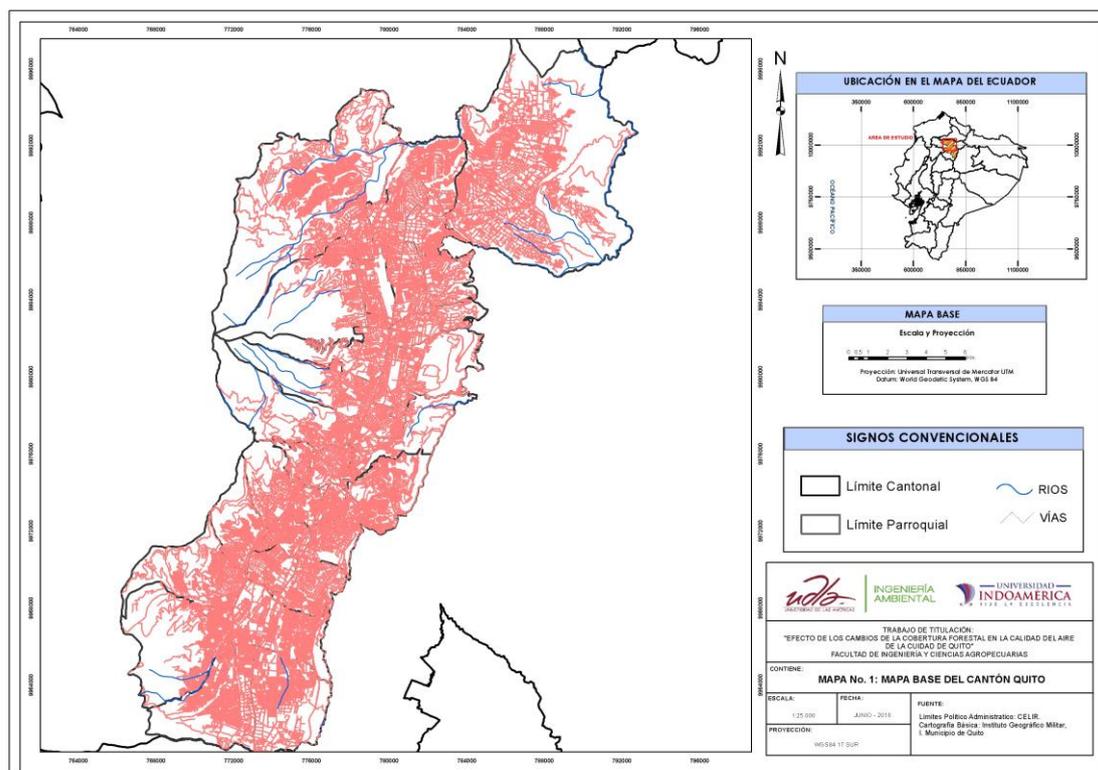


Figura 6. Delimitación del área de estudio de la ciudad de San Francisco de Quito.

3.2. Descripción de las Estaciones de la ciudad de Quito

Para la definición del área de estudio, se ha considerado principalmente como referencia a las Estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire que constan en la Secretaría de Ambiente del DMQ. Se procedió a obtener la información como se puede observar en la Tabla 8, de seis de las nueve Estaciones del DMQ, ya que no se contaba con toda la información de los atributos ambientales necesarios para este estudio, ver Figura 7.

Tabla 7.

Características de Ubicación de las Estaciones Meteorológicas.

Estaciones	Ubicación	Coordenadas Geográficas	Altitud
1. <i>Carapungo</i>	Carapungo, Super manzana B, el Vergel S/N, Ed. Andinatel	78 26' 50" W, 0 5' 54" S	2660 msnm
2. <i>Cotocollao</i>	Cotocollao, Santa Teresa # 70 – 121 entre Ignacio Loyola y Alfonso del Hierro	78 29' 50" W, 0 6' 28" S	2739 msnm
3. <i>Belisario</i>	Terraza del Ed. Administrativo del Colegio San Gabriel (Av. América 3541)	78 29' 24" W, 0 10' 48" S	2835 msnm
4. <i>Centro Histórico</i>	Terraza de la Radio Municipal (ex Hogar Javier García Moreno 751 y Sucre)	78 30' 36" W, 0 13' 12" S	2820 msnm
5. <i>El Camal</i>	Terraza del Hospital Patronato Municipal San José Sur (Adrián Navarro 1660 e Hinostroza)	78 30' 36" W 0 15' 00" S	2840 msnm
6. <i>Guamaní</i>	Zona Quitumbe – Patio de la Escuela Julio Enrique Moreno (Patricio Romero S/N y Lucía Albán)	78 33' 5" W 0 19' 51" S	3066 msnm

Adaptado de: (Secretaría del Ambiente, 2016).

Se presenta a continuación la Figura 7, mapa de ubicación del área de estudio donde se enfatiza los puntos de ubicación de las Estaciones de monitoreo antes mencionadas, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo del DMQ.

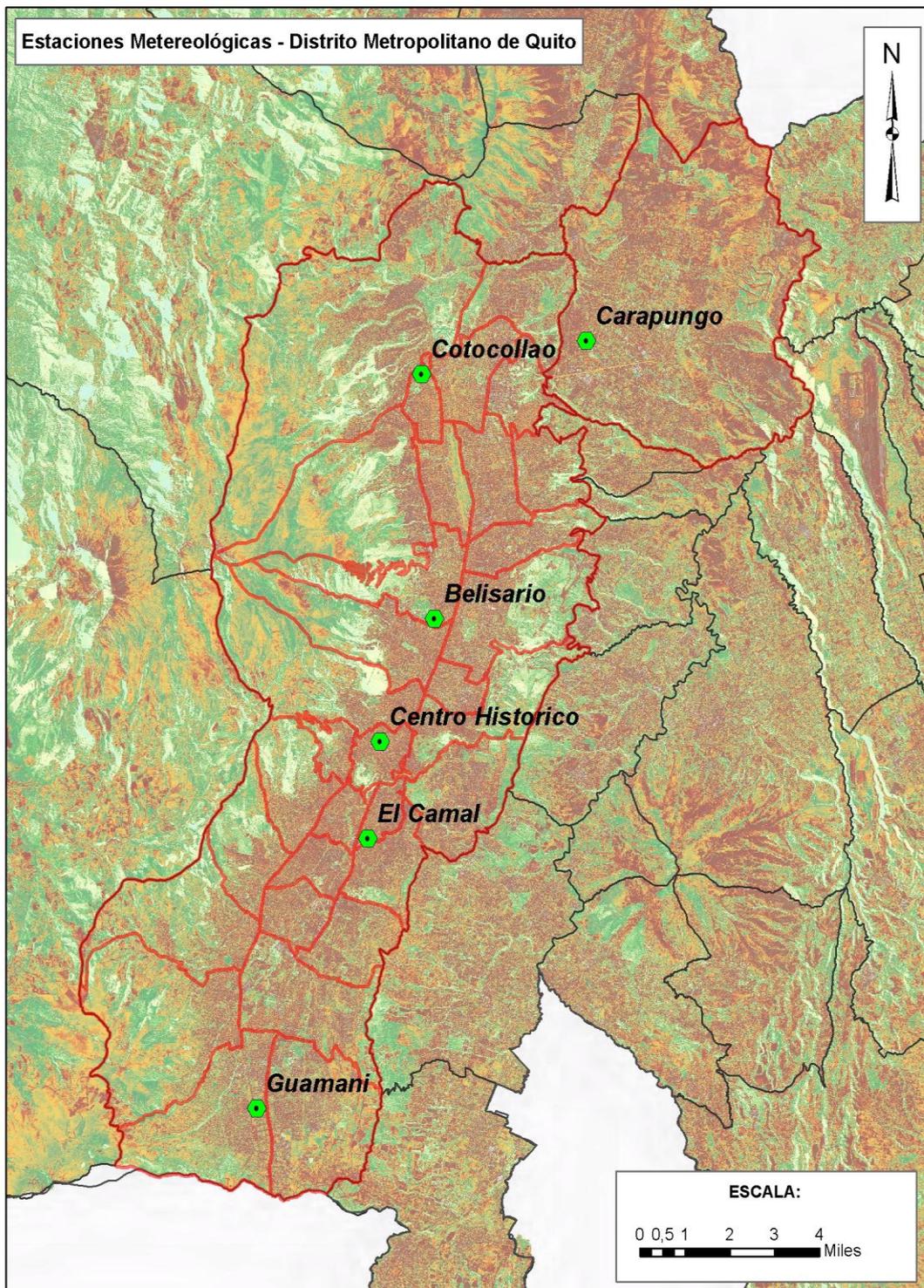


Figura 7. Mapa de Estaciones Meteorológicas del área de estudio de la ciudad de Quito

3.3. Obtención y procesamiento de imágenes satelitales

3.3.1. Recopilación de la información cartográfica

Durante el desarrollo investigativo se empezó con la recopilación y verificación de las coberturas geográficas, que el I. Municipio de Quito utiliza y actualiza para sus respectivos proyectos, los mismos que se procederán a evaluar de acuerdo a nuestros objetivos propuestos.

En base a esta revisión y análisis se verifica que los archivos se encuentran en formato shape, formato apto para la realización del estudio y que se encuentran bajo la misma proyección, es así que se trabajó con la siguiente lista de información:

Tabla 8.

Características de la información utilizada.

Limites Parroquias Urbanas
Limites Parroquias Rurales
Ejes Viales
Georeferenciación de Estaciones de monitoreo

Adaptado del Municipio de Quito (2016).

Nota: La información utilizada esta especificada mediante cuatro sectores estratégicos.

3.3.2. Recopilación de información satelital y fotografía de área

Se procedió a la recopilación de imágenes satelitales del área de estudio definida, de los años 2007 y 2017, considerando que el objeto de estudio es identificar los cambios realizados a través del tiempo en los remanentes boscosos, vegetación arbustiva y zonas urbanas.

Se realiza un análisis previo para verificar la calidad de las imágenes satelitales a utilizar, tomando en cuenta el cubrimiento total del área de estudio, porcentaje de cobertura de nubes y con una buena resolución espacial y espectral, con el fin de identificar aquellas con menor relación de error.

Se realizó la descarga de las imágenes, obtenidas a partir del servidor gratuito del Servicio Geológico de los Estados Unidos - “USGS” (<https://www.usgs.gov/>), que dispone de imágenes provenientes del Satélite Landsat 7 (31 de Junio del año 2007) y Landsat 8 (20 de Septiembre el año 2017), con el fin de recuperar las imágenes satelitales de mejor calidad, con un histórico promedio de 10 años.

3.3.3. Pre procesamiento de imágenes

Para realizar el pre procesamiento o calibración de imágenes, se usó el software ENVI Classic en el cual se realizaron las correcciones respectivas a las imágenes de cada año, con el fin de mejorar los aspectos de las mismas y hacer más evidentes en ellas ciertos detalles, que se desean resaltar, para esto se aplicaron los siguientes procedimientos:

- a) La calibración radiométrica de radiancia
- b) La Corrección atmosférica – Flash
- c) La corrección de líneas de imagen

La primera se basa en un proceso que permite convertir la información de la imagen original (bruta) de cada pixel de Niveles Digitales – ND a Niveles de Reflectancia captada por el sensor en el tope de la atmósfera, es decir, sin los efectos de la misma, lo que permite disminuir los efectos de dispersión y absorción causados por la presencia de partículas en la atmósfera. Adicionalmente, se busca remover el efecto de los diferentes ángulos de incidencia de la energía solar y de la distancia Tierra – Sol, que se producen como consecuencia de la diferencia de tiempo de adquisición de las imágenes.

La segunda, contrariamente es un proceso que se aplica en las imágenes digitales, con el propósito de eliminar el efecto de los aerosoles y la radiancia intrínseca que se introduce en el sensor y esta se puede ver reflejado en la imagen, como producto de la interacción del sensor con la atmósfera. Con el proceso de corrección atmosférica se logra mejorar la calidad visual de la imagen, así como eliminar el componente intrusivo de la atmósfera. Para dicho proceso se utilizó la herramienta FLAASH del software ENVI.

Se identificó que las imágenes satelitales presentaban líneas negras con vacíos o datos inválidos (gaps) de información para lo cual se implementa la metodología de relleno de las líneas "GapFill", para corregir los valores perdidos en las escenas de Landsat 7 - sensor SLC.

Finalmente, se procedió a utilizar el software Envi Classic, que permitió el corte de la imagen correspondiente al área de estudio designada, en este caso con el límite de las parroquias urbanas de la ciudad de Quito.

3.3.4. Clasificación de Imágenes Satelitales (ARCGIS)

La interpretación visual permite incorporar variables visuales en la identificación de objetos tales como: forma, tamaño, textura, contexto espacial y sombras. Estas características del suelo son aún difíciles de determinar en el método de procesamiento digital de imágenes. La interpretación visual es un proceso subjetivo, lo que significa que los resultados varían de acuerdo a la interpretación realizada; ya que el análisis digital se fundamenta en la manipulación de números, los resultados de los procesos pueden ser algo más objetivos. Motivo por el cual, en la presente disertación se ha optado por realizar una clasificación supervisada y No supervisada de cobertura de uso de suelo de las imágenes 2007 y 2017.

a. La Clasificación No supervisada

Proceso de clasificación automático, el cual aprovecha las características de la imagen para definir las agrupaciones con valores similares, además esta puede variar dependiendo del objeto de estudio, y es allí donde definimos criterios que permiten generalizar el uso de este proceso, no se establece ninguna clase con anterioridad, aunque si es necesario determinar el número de clases que desea establecer y dejar que las defina un procedimiento estadístico, para esto se definieron cinco clases de usos del suelo.

Se utilizaron algoritmos de clasificación automática multivariante en los que los individuos más próximos se van agrupando, es decir formando clases. La herramienta que se utilizó fue Multivariate - Iso Cluster Unsupervised

Classification en el software de ArcGis, en donde puede verse como los diversos individuos se agrupan en clases, primero los que se encuentran a una menor distancia (los más parecidos), y como posteriormente las clases se unen entre sí.

b. La Clasificación Supervisada

Se trata de las áreas de las que se conoce anticipadamente la clase a la que pertenece, estas clases se caracterizan en función del conjunto de variables mediante la medición de las mismas en individuos, se tomaron en cuenta áreas lo más homogéneas posibles con el fin de obtener las características de reflectividad de cada una de las clases analizadas para este estudio, las mismas que fueron comparadas con fotografías aéreas.

Para esto se creó un archivo de puntos de control en formato SHP, con el nombre de supervisión, con cada una de las clases que se analizaron de la imagen en cada año de estudio, para lo cual se identificaron 500 puntos por cada una de las mismas, las cuales se definieron de la siguiente forma:

Tabla 9.

Características de la clasificación utilizada en las imágenes satelitales.

Código:	Clase:
# 1	Arbustiva
# 2	Bosque
# 3	Suelos
# 4	Urbano
# 5	Agua

Una vez elaborados los 500 puntos se procedió a aplicar la herramienta Multivariate – Create Signature, en donde se cruzaron los puntos de control con las imágenes satelitales. De este proceso se obtuvo las siguientes estadísticas.

Luego se procedió a realizar la clasificación supervisada, en Multivariate – maximum likelihood Classification, que es el algoritmo de similitud y se ingresa la imagen y el Signature file, del cual se obtiene la clasificación final.

Una vez obtenidos los dos resultados, se procedió a generar puntos de control para definir cuál de las dos clasificaciones fue la más óptima, dándonos como resultado la clasificación Supervisada, resultados que se presentarán más adelante (*Tabla de Resultados 10*).

3.3.5. Creación de buffers o áreas de influencia

El buffer es el área o zona de influencia que se generó alrededor de las 6 Estaciones meteorológicas geo referenciadas dentro del área urbana de Quito, de las cuales se generaron diez con las siguientes medidas:

- 300, 400, 550, 650, 750, 950, 1150, 1350 y 1500 m.

Una vez generados los buffers se procedió a la identificación de la información de uso de suelo y cobertura vegetal existente en hectáreas para cada uno de las zonas de influencia generadas por estación y año.

3.4. Obtención y procesamiento de datos sobre calidad del aire por estación y año

Para identificar las variaciones en contaminación atmosférica se procedió a ingresar a la red de monitoreo del aire proveniente de la (página Web de La Secretaria de Ambiente del DMQ), en el enlace de monitoreo atmosférico se descargó los datos históricos de calidad de aire procedentes de cada estación que pertenece al área de estudio dentro de la ciudad de Quito, se procedió a emitir la descarga de las concentraciones de los contaminantes SO₂, O₃, CO, NO₂ y PM_{2.5}, se utilizó la información de la red de monitoreo para los años 2007 hasta el 2017 y se seguirá el siguiente procedimiento:

Una vez recopilada toda la información de las 6 Estaciones disponibles de la red de monitoreo del aire que son: (Cotocollao, Carapungo, Belisario, Centro Histórico, Guamaní, y el Camal), definidas en la Tabla 8, se analizó los datos de cada estación, y se procedió a construir una base de datos que cumplan con las necesidades, referente a las variaciones que había en el formato que fue descargado, realizando una transformación para un nuevo procesamiento de la

información de los contaminantes SO₂, O₃, CO, NO₂ y PM_{2.5}, los cuales abarcan información horaria y mensual de cada año.

Esta información fue procesada en el programa Excel, donde se obtuvo un análisis de comportamiento de los contaminantes, en un periodo de 10 años de cada estación, con las series temporales de las bases de datos meteorológicos y de los contaminantes, se prosiguió con la construcción de gráficas para observar las tendencias e identificar que Estaciones presentan un incremento o disminución de la concentración de los contaminantes en el aire y como está sobrepasa la norma actual vigente.

En la siguiente Tabla número 11 se puede observar los niveles de alerta que están normalizados cada contaminante, para proteger la salud y resiliencia de un hábitat.

Tabla 10.

Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire (Secretaría de Ambiente, 2016).

Contaminante y Período de Tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15000	30000	40000
Ozono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	400	600
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1000	2000	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	1000	1800
Material Particulado PM _{2.5} Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	250	350

Adaptado de: (Secretaría del Ambiente, 2016)

Nota: Principales concentraciones de alerta.

Se presenta a continuación los datos meteorológicos que se realizó con cada estación y contaminante de cada año hasta el 2017:

Año	Fecha			Solo hora	Cod	Contaminantes DMQ				
	Mes	Dia	Hora			CO	NO2	O3	PM2.5	SO2
2006	1	1	12:00:00 AM	0	2006-1-1-0-BEL	0.94		24.51	149.98	23.49
2006	1	1	1:00:00 AM	1	2006-1-1-1-BEL	1.12		17.99	107.18	7.25
2006	1	1	2:00:00 AM	2	2006-1-1-2-BEL	0.92		19.45	48.72	5.52
2006	1	1	3:00:00 AM	3	2006-1-1-3-BEL	0.95		20.89	25.79	4.97
2006	1	1	4:00:00 AM	4	2006-1-1-4-BEL	0.72		27.96	21.65	3.5
2006	1	1	5:00:00 AM	5	2006-1-1-5-BEL	0.6		29.19	21.9	3.34
2006	1	1	6:00:00 AM	6	2006-1-1-6-BEL	0.62		30.54	18.78	4.38
2006	1	1	7:00:00 AM	7	2006-1-1-7-BEL	0.72		32.32	13.9	4.8
2006	1	1	8:00:00 AM	8	2006-1-1-8-BEL	0.76		43.26	18.51	6.28
2006	1	1	9:00:00 AM	9	2006-1-1-9-BEL	0.71		60.86	22.65	7.02
2006	1	1	10:00:00 AM	10	2006-1-1-10-BEL	0.78		79.82	28.73	6.86
2006	1	1	11:00:00 AM	11	2006-1-1-11-BEL	0.85		77.21	22.71	11.38
2006	1	1	12:00:00 PM	12	2006-1-1-12-BEL	0.78		65.53	11.24	11.83
2006	1	1	1:00:00 PM	13	2006-1-1-13-BEL	1.01		60.82	22	22.05
2006	1	1	2:00:00 PM	14	2006-1-1-14-BEL	0.67		61.94	18.41	27.52
2006	1	1	3:00:00 PM	15	2006-1-1-15-BEL	0.68		60.64	18.75	17.56
2006	1	1	4:00:00 PM	16	2006-1-1-16-BEL	0.79		52	15.93	12.34
2006	1	1	5:00:00 PM	17	2006-1-1-17-BEL	1		32.21	34.72	11.08
2006	1	1	6:00:00 PM	18	2006-1-1-18-BEL	1.41		18.05	29.09	11.2
2006	1	1	7:00:00 PM	19	2006-1-1-19-BEL	1.36		16.4	33.48	7.69
2006	1	1	8:00:00 PM	20	2006-1-1-20-BEL	1.03		22.91	23.13	4.68
2006	1	1	9:00:00 PM	21	2006-1-1-21-BEL	1.01		20.38	22.8	4.36
2006	1	1	10:00:00 PM	22	2006-1-1-22-BEL	0.73		28.68	22.18	2.76
2006	1	1	11:00:00 PM	23	2006-1-1-23-BEL	0.71		28.57	17.36	2.82
2006	1	2	12:00:00 AM	0	2006-1-2-0-BEL	0.58		32.77	18.49	1.64
2006	1	2	1:00:00 AM	1	2006-1-2-1-BEL	0.47		38.59	23.04	1.06
2006	1	2	2:00:00 AM	2	2006-1-2-2-BEL	0.42		44.34	18.49	0.88
2006	1	2	3:00:00 AM	3	2006-1-2-3-BEL	0.4		47.8	11.28	1.22
2006	1	2	4:00:00 AM	4	2006-1-2-4-BEL	0.44		41.88	7.83	0.71
2006	1	2	5:00:00 AM	5	2006-1-2-5-BEL	0.48		35.28	7.43	1.51

Figura 8. Ejemplo de procesamiento de la Estación de Belisario desde el año 2006

Posteriormente se procesó la información de cada estación y contaminante realizando tablas dinámicas en las cuales se tabuló y se reorganizó los datos donde se obtuvo valores promedios, mínimos, máximos diarios y desviación estándar desde el año 2006 hasta el año 2017, procesados en datos mensuales, para reducir la cantidad de información.

Se presenta de igual forma una gráfica del procesamiento de las tablas dinámicas de los datos meteorológicos que se realizó con cada estación y contaminante de cada año hasta el 2017, pero finalmente se referenció solo los dos años de estudio:

CO					NO2					O3						
Mín	Promedio	Prom+des	Prom-des	Desvest	Máx	Mín	Promedio	Prom+des	Prom-des	Desvest	Máx	Mín	Promedio	Prom+des	Prom-des	Desvest
0.09	0.57	1.04	0.11	0.46	80.1	2.14	21.17	32.96	9.38	11.79	72.64	0	18.96	36.12	1.80	17.16
0.10	0.62	0.98	0.25	0.37	59.7	3.2	18.95	28.59	9.32	9.64	84.54	-0	19.85	37.00	2.70	17.15
0.28	0.81	1.20	0.42	0.39	51.7	1.57	21.30	30.87	11.72	9.57	68.35	-0.1	17.27	33.82	0.73	16.54
0.27	0.77	1.17	0.38	0.39	69	2.16	17.50	26.95	8.04	9.45	81.39	0.48	18.82	36.23	1.42	17.41
0.16	0.59	1.08	0.10	0.49	69.3	2.08	17.73	29.58	5.87	11.85	59.71	0.44	16.48	30.95	2.01	14.47
0.17	0.61	0.95	0.26	0.35	41	1.64	14.61	22.07	7.15	7.46	62.35	-0.1	14.67	28.29	1.06	13.62
0.15	0.58	0.92	0.24	0.34	41.1	0.55	12.88	20.03	5.72	7.15	57.69	0.07	15.94	28.79	3.08	12.85
0.01	0.59	0.89	0.28	0.30	56.1	1.61	14.23	22.60	5.86	8.37	90.38	-0	19.46	36.96	1.97	17.50
0.22	0.83	1.22	0.44	0.39	88.6	4.98	25.52	39.97	11.06	14.46	137.9	0.13	38.27	67.77	8.77	29.50
0.21	0.71	1.15	0.27	0.44	71.4	-1.5	25.12	38.56	11.68	13.44	101	0	25.78	50.30	1.26	24.52
-1.02	0.65	1.06	0.25	0.40	78.4	4.47	26.03	39.69	12.37	13.66	101.4	-0	24.54	47.90	1.19	23.36
0.19	0.63	0.99	0.27	0.36	71.6	3.12	21.87	33.56	10.17	11.70	108.9	0.01	24.61	45.57	3.65	20.96

PM2.5					SO2						
Máx	Mín	Promedio	Prom+des	Prom-des	Desvest	Máx	Mín	Promedio	Prom+des	Prom-des	Desvest
184	-6.16	16.04	30.38	1.70	14.34	17.1	-0.1	2.19	4.44	-0.06	2.25
60.81	-61.2	14.49	25.41	3.57	10.92	11.1	-1.1	1.06	2.89	-0.76	1.82
62.57	-82.7	14.80	27.86	1.74	13.06	8.82	-1.3	0.18	1.48	-1.12	1.30
68.56	0	15.99	26.07	5.91	10.08	10.8	-1.5	1.14	2.78	-0.50	1.64
76.95	0.03	14.88	23.91	5.86	9.03	7.75	-0.1	1.06	2.08	0.04	1.02
76.61	0.3	16.52	26.77	6.26	10.25	15.4	0.03	1.92	3.67	0.18	1.74
64.89	0	12.91	20.83	4.99	7.92	10.7	-0	1.56	2.98	0.15	1.41
49.73	0.01	15.70	23.80	7.59	8.10	31.3	0.01	1.70	3.76	-0.36	2.06
75.17	0.33	20.19	31.40	8.98	11.21	13.9	-0.1	1.83	3.85	-0.20	2.02
79.08	0.44	17.46	28.01	6.91	10.55	13	0.06	1.98	3.85	0.11	1.87
83.42	0	21.92	34.40	9.43	12.49	11.4	-0.7	2.60	4.93	0.28	2.32
59.02	0	15.97	25.57	6.37	9.60	17.7	-0.7	1.31	3.43	-0.81	2.12

Cotocollao 2007	CO				NO2			
	Máx. de CO	Mín. de CO2	Promedio de CO3	Desvest de CO4	Máx. de NO2	Mín. de NO2	Promedio de NO2	Desvest de NO2
1	4.67	0.19	0.69	0.42	526	2.57	33.94	62.85
2	4.03	0.19	0.76	0.45	575	1.96	39.64	68.27
3	3.58	0.31	0.82	0.40	534	3.58	33.41	59.17
4	3.53	0.26	0.81	0.43	446	2.69	37.06	60.58
5	3.05	0	0.70	0.44	434	3.42	27.14	43.69
6	2.67	0.05	0.63	0.39	575	3.62	31.72	51.54
7	2.25	0.05	0.50	0.34	509	2.14	32.89	55.62
8	2.2	0.28	0.70	0.28	563	2.73	42.75	76.64
9	3.44	0.03	0.56	0.33	584	2.46	45.80	78.67
10	3.58	0.19	0.67	0.41	736	2.53	48.45	84.14
11	2.49	0.16	0.75	0.33	438	4.18	37.52	57.11
12	2.69	0.32	0.71	0.30	402	1.77	33.17	51.75
Total general	4.67	0	0.69	0.39	736	1.77	36.97	63.97

Figura 9. Ejemplo de Tabla dinámica de datos mensuales del año 2007

CO					NO2					O3						
Min	Promedio	Prom+des	Prom-des	Desvest	Máx	Min	Promedio	Prom+des	Prom-des	Desvest	Máx	Min	Promedio	Prom+des	Prom-des	Desvest
0.19	0.69	1.11	0.26	0.42	526	2.57	33.94	96.80	-28.91	62.85	75.78	0.09	22.66	41.75	3.57	19.09
0.19	0.76	1.21	0.31	0.45	575	1.96	39.64	107.91	-28.63	68.27	123.5	0.49	31.66	55.47	7.85	23.81
0.31	0.82	1.22	0.42	0.40	534	3.58	33.41	92.59	-25.76	59.17	106.5	0.25	27.58	48.38	6.77	20.80
0.26	0.81	1.24	0.39	0.43	446	2.69	37.06	97.64	-23.52	60.58	96.85	0.17	19.50	37.77	1.22	18.27
0	0.70	1.14	0.27	0.44	434	3.42	27.14	70.83	-16.55	43.69	63.06	0.12	15.80	30.93	0.67	15.13
0.05	0.63	1.01	0.24	0.39	575	3.62	31.72	83.26	-19.82	51.54	71.69	0.5	20.29	35.41	5.17	15.12
0.05	0.50	0.84	0.16	0.34	509	2.14	32.89	88.51	-22.73	55.62	85.35	0.07	24.14	44.05	4.22	19.91
0.28	0.70	0.98	0.42	0.28	563	2.73	42.75	119.40	-33.89	76.64	87.33	0.24	26.87	47.32	6.43	20.44
0.03	0.56	0.88	0.23	0.33	584	2.46	45.80	124.47	-32.87	78.67	116.4	0.29	38.43	64.64	12.22	26.21
0.19	0.67	1.07	0.26	0.41	736	2.53	48.45	132.59	-35.68	84.14	128.5	0.02	27.62	54.46	0.78	26.84
0.16	0.75	1.08	0.42	0.33	438	4.18	37.52	94.63	-19.59	57.11	97.12	0.04	23.74	43.52	3.96	19.78
0.32	0.71	1.01	0.42	0.30	402	1.77	33.17	84.91	-18.58	51.75	75.53	0	19.82	35.08	4.57	15.25

PM2.5						SO2					
Máx	Min	Promedio	Prom+des	Prom-des	Desvest	Máx	Min	Promedio	Prom+des	Prom-des	Desvest
245.7	0	17.41	34.11	0.72	16.69	23.4	0.96	3.63	6.19	1.07	2.56
82.85	0.27	21.48	35.42	7.53	13.94	30	0.62	3.97	7.48	0.46	3.51
63.94	1.22	15.81	24.76	6.85	8.95	25.8	0.37	3.80	6.94	0.66	3.14
67.39	0.48	18.80	28.59	9.01	9.79	40.2	0.37	6.09	11.80	0.38	5.71
60.21	0	17.39	27.26	7.52	9.87	13.6	0.36	3.50	5.54	1.46	2.04
71.74	0.12	14.86	23.53	6.19	8.67	28.7	0.9	6.05	9.76	2.34	3.71
55.24	0.01	14.55	23.16	5.94	8.61	32.5	0.23	5.29	9.73	0.84	4.44
45.42	0	15.68	23.28	8.09	7.59	34.4	0.24	5.38	9.12	1.63	3.75
75.69	0.51	16.28	25.79	6.78	9.51	29.7	0	4.31	7.51	1.11	3.20
110.9	0.17	20.44	33.22	7.66	12.78	25.4	0.48	4.24	7.25	1.24	3.00
71.3	0.03	15.30	24.41	6.20	9.11	20.5	0.28	3.13	5.74	0.51	2.61
64.34	0	13.60	22.02	5.18	8.42	27.3	0.05	2.68	5.51	-0.14	2.82

Cotocollao-2017	CO				NO2			
Etiquetas de fila	Máx. de CO	Min. de CO	Promedio de CO2	Desvest de CO3	Máx. de NO2	Min. de NO2_2	Promedio de NO2_3	Desvest de NO2_4
1	4.98	0.09	0.57	0.46	80.12	2.14	21.17	11.79
2	3.19	0.10	0.62	0.37	59.74	3.2	18.95	9.64
3	2.79	0.28	0.81	0.39	51.74	1.57	21.30	9.57
4	3.24	0.27	0.77	0.39	69.02	2.16	17.50	9.45
5	8.88	0.16	0.59	0.49	69.29	2.08	17.73	11.85
6	3.51	0.17	0.61	0.35	41.04	1.64	14.61	7.46
7	2.08	0.15	0.58	0.34	41.1	0.55	12.88	7.15
8	1.83	0.01	0.59	0.30	56.08	1.61	14.23	8.37
9	3.13	0.22	0.83	0.39	88.62	4.98	25.52	14.46
10	3.09	0.21	0.71	0.44	71.39	-1.52	25.12	13.44
11	2.13	-1.02	0.65	0.40	78.36	4.47	26.03	13.66
12	3.12	0.19	0.63	0.36	71.62	3.12	21.87	11.70
Total general	8.88	-1.02	0.66	0.40	88.62	-1.52	19.51	11.68

Figura 10. Ejemplo de tabla dinámica de datos mensuales del año 2017

Los valores promedios, mínimos, máximos y en conjunto con la desviación estándar obtenidos para los años de estudio, se concretó en una tabla completa donde se visualizó claramente los datos y las faltantes de información que hay por fallas posibles, provenientes de los equipos, o a su vez por irregularidades de la estación en la toma de datos en la muestra del día.

Se puede observar a continuación la Figura 10 que contiene la tabla completa de los once años procesados en un solo formato mensual de mayor accesibilidad, su lectura y análisis de información.

Estación	Año	Contaminante Mes	CO				NO2				O3			
			Máx. de CO	Mín. de CO2	Promedio de CO3	Desvest de CO4	Máx. de NO2	Mín. de NO2_2	Promedio de NO2_3	Desvest de NO2_4	Máx. de O3	Mín. de O3_2	Promedio de O3_3	Desvest de O3_4
1	2006	1	2.47	0.03	0.51	0.38	434	1.69	29.72	51.01	85.93	0.29	23.36	17.29
1	2006	2	3.41	0.04	0.56	0.36	562	1.52	31.20	54.53	89.9	0.15	22.34	19.67
1	2006	3	4.67	0	0.62	0.51	627	4.13	39.79	67.87	92.18	0.32	25.05	20.34
1	2006	4	3.68	0	0.51	0.46	619	0.43	37.12	67.58	99.29	0.21	22.15	19.64
1	2006	5	3.31	0	0.81	0.42	396	0	31.21	54.15	74.38	0.18	19.06	17.07
1	2006	6	3.52	0.41	1.09	0.45	562	1.67	34.94	58.27	86.64	0.15	18.93	16.66
1	2006	7	2.91	0.19	0.67	0.38	582	0.73	32.84	56.99	70.45	0.43	22.71	16.65
1	2006	8	2.96	0.18	0.78	0.32	539	1.3	39.97	71.32	90.16	0.44	32.94	21.29
1	2006	9	3.66	0.01	0.71	0.41	1149	1.58	45.11	83.39	95.06	0.3	34.90	24.48
1	2006	10	3.26	0.17	0.76	0.41	688	3.17	43.46	73.65	98.27	0.26	27.68	22.12
1	2006	11	3.81	0.01	0.88	0.49	655	2.63	44.73	80.58	90.17	0.25	24.34	19.49
1	2006	12	3.41	0.29	0.94	0.48	535	1.34	42.45	74.09	98.54	0.22	23.43	20.60
1	2007	1	4.67	0.19	0.69	0.42	526	2.57	33.94	62.85	75.78	0.09	22.66	19.09
1	2007	2	4.03	0.19	0.76	0.45	575	1.96	39.64	68.27	123.49	0.49	31.66	23.81
1	2007	3	3.58	0.31	0.82	0.40	534	3.58	33.41	59.17	106.47	0.25	27.58	20.80
1	2007	4	3.53	0.26	0.81	0.43	446	2.69	37.06	60.58	96.95	0.17	19.50	18.27
1	2007	5	3.05	0	0.70	0.44	434	3.42	27.14	43.69	63.06	0.12	15.80	15.13
1	2007	6	2.67	0.05	0.63	0.39	575	3.62	31.72	51.54	71.69	0.5	20.29	15.12
1	2007	7	2.25	0.05	0.50	0.34	509	2.14	32.89	55.62	85.35	0.07	24.14	19.91
1	2007	8	2.2	0.28	0.70	0.28	563	2.73	42.75	76.64	87.33	0.24	26.87	20.44
1	2007	9	3.44	0.03	0.56	0.33	584	2.46	45.80	78.67	116.38	0.29	38.43	26.21
1	2007	10	3.58	0.19	0.67	0.41	736	2.53	48.45	84.14	128.49	0.02	27.62	26.84
1	2007	11	2.49	0.16	0.75	0.33	438	4.18	37.52	57.11	97.12	0.04	23.74	19.78
1	2007	12	2.69	0.32	0.71	0.30	402	1.77	33.17	51.75	75.53	0	19.82	15.25
1	2008	1	2.33	0.08	0.72	0.33	73.94	0	15.58	9.41	69.84	0.02	17.32	13.92
1	2008	2	2.82	0	0.73	0.38	69.4	0	16.50	10.83	72.8	0.02	16.08	15.71
1	2008	3	3.39	0.07	0.67	0.41	67.8	2.17	20.99	11.68	82.55	0.06	24.51	17.97
1	2008	4	4.02	0.15	0.73	0.44	65.71	1.4	19.74	10.78	87.96	0.15	20.89	16.75
1	2008	5	3.54	0	0.72	0.46	50	1.85	18.64	9.17	89.26	0	15.53	15.96
1	2008	6	3.49	0.2	0.68	0.40	66.36	4	18.29	9.48	77.96	0	16.64	16.76
1	2008	7	3.4	0.15	0.67	0.34	66.57	4.75	20.16	9.66	71.75	0	20.63	18.01
1	2008	8	2.52	0.18	0.71	0.32	62.11	3.6	25.27	12.19	94.6	0.01	28.62	22.92
1	2008	9	1.97	0.13	0.62	0.34	66.88	2.77	25.37	13.34	109.07	0	31.17	24.25
1	2008	10	2.88	0.13	0.61	0.38	74.99	3.25	26.47	14.47	88.44	0	26.87	23.10
1	2008	11	2.91	0.16	0.65	0.37	73.12	1.95	22.25	12.63	90.57	0	22.86	20.43
1	2008	12	2.59	0.22	0.65	0.36	75.24	2.49	22.50	12.56	78.43	0	23.73	18.88
1	2009	1	2.18	0.11	0.49	0.31	65.1	2.38	16.54	9.37	78.15	0	18.78	15.96

Figura 11. Tabla unificada mensual de los once años procesados

Se realizó gráficas de valores, para monitorear el rango de validación del riesgo que procede de los contaminantes, las tablas de resultados se muestran en anexos.

3.5 Comparaciones uso del suelo vs calidad del aire

Para determinar las relaciones entre los cambios de cobertura boscosa y las variaciones de la calidad del aire de Quito.

Primeramente, se realiza el cruce de variables estadísticas con las geográficas. Se considera las variables de calidad del aire y los datos de calidad de aire procesados desarrollados en los objetivos anteriores. A estos se les aplicó herramientas de análisis espacial, para verificar los lugares de mayor afectación.

En el caso de no cumplir estos requisitos se desarrollaron distintas técnicas de ajuste, después de verificar los requerimientos básicos para este análisis.

Se elaboró mapas con los resultados obtenidos, que explican como el cambio en la cobertura forestal influye en las concentraciones de contaminantes de la calidad de aire de Quito.

Finalmente, para explicar la relación de los cambios de la cobertura forestal con algunos atributos de la calidad del aire, se realizará la interpretación de resultados.

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Imágenes Satelitales

Para el procesamiento de resultados de las imágenes satelitales se determinó la información capturada sobre los factores estudiados que son: bosques, suelos, arbustiva, área urbana y agua, para los años 2007 y 2017; en base a ello se puede apreciar los cambios existentes en el transcurso del tiempo. La metodología específica se explica en el punto 3.3.2 que hace referencia a la recopilación de información satelital y fotografía aérea.

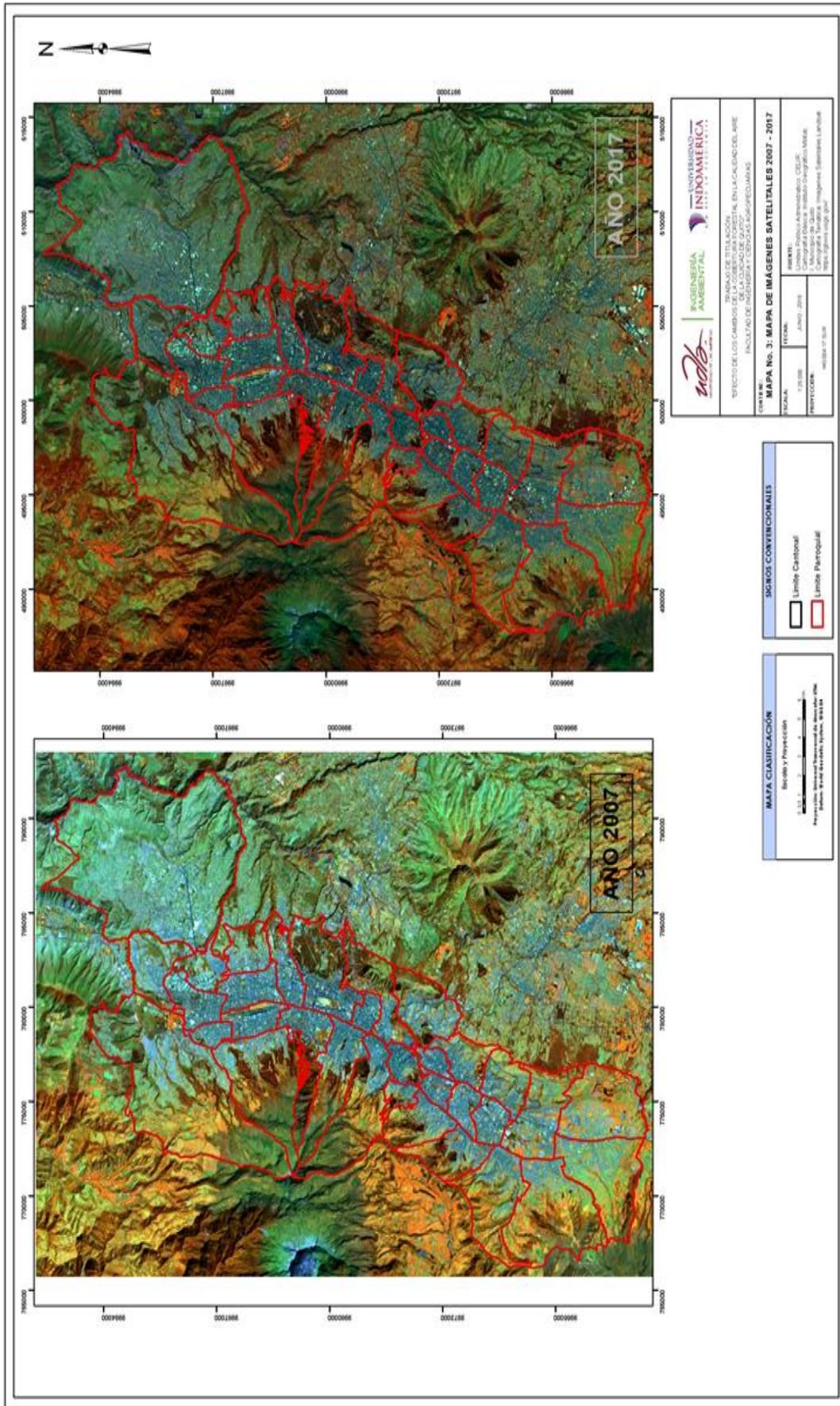


Figura 12. Mapa de Imágenes Satelitales 2007 – 2017

La Figura 12 representa las imágenes satelitales de los años de estudio, de las cuales fueron tomadas los datos para determinar el tipo de clasificación a utilizar.

La clasificación supervisada tanto del año 2007 como del año 2017 son los resultados con más alta validación, teniendo un 0,85 y 0,86 % respectivamente. Las tablas de clasificación supervisada y no supervisada que se puede apreciar en anexos, contienen los datos obtenidos de las imágenes satelitales por medio del programa ArcMap, y a partir de ello se determina qué tipo de clasificación será utilizada para los análisis posteriores, como se puede apreciar en los resultados obtenidos.

Como se muestra en la Figura 12, existe un incremento de las coberturas forestales en todas las Estaciones entre el año 2007 y 2017. Este incremento de la zona arbustiva o bosque se da como consecuencia de la puesta en marcha de programas de reforestación llevados a cabo por varios organismos, entre los cuales están la Secretaría de Ambiente, el Municipio Metropolitano de Quito, el Comité Promotor de Arborización de la ciudad, la Dirección de Parques y Jardines de la empresa Metropolitana de Obras Públicas y la empresa privada.

Se aprecia además que para el año 2017, la mancha urbana que está representada de color rojo se incrementa como resultado del crecimiento demográfico y tiende a desaparecer las áreas de suelos.

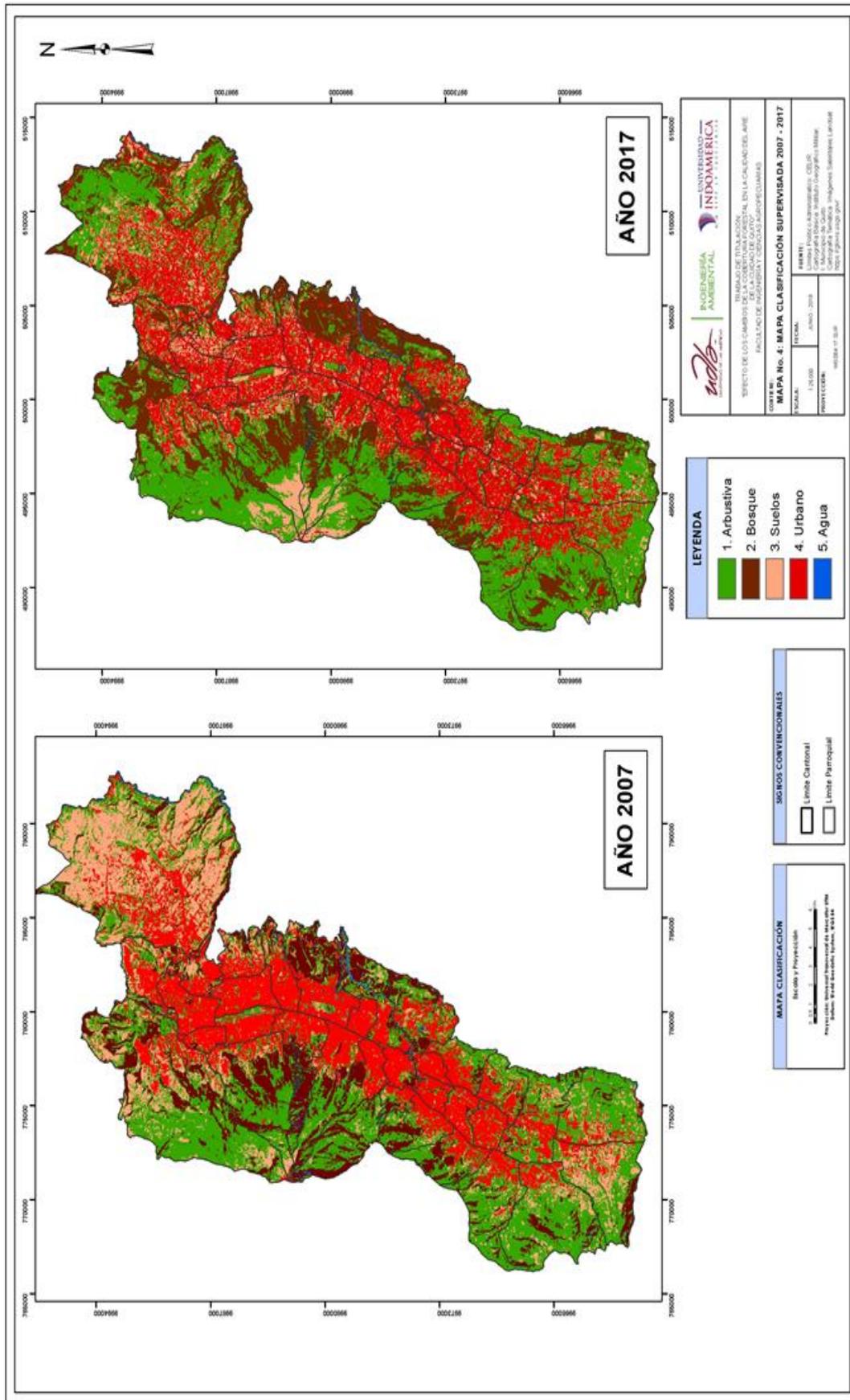


Figura 13. Mapa de las clasificaciones supervisadas.

Con el fin de evaluar el efecto de variación de los componentes atmosféricos a los cambios de cobertura forestal, se estudió el área más pequeña alrededor de cada una de las Estaciones de monitoreo de aire del DMQ. Para esto se procesó 6 zonas de diferente longitud de radios alrededor de la estación, visualizar la Figura 13.

Se puede ver en la Figura 14 que el color dominante es rojo, el cual representa la zona urbana. Se aprecia además que en la zona sur de la ciudad se incrementó la zona arbustiva representada por el color verde, desde el año 2007 a 2017.

Los análisis de cobertura han sido detallados por zona, es decir, cuanto espacio territorial ocupa cada clase (arbustiva, zona forestal, suelos y urbano) dentro de un área de verificación que son 150 m hasta 1.500 m (10 buffers) alrededor de cada estación de monitoreo.

Para un mejor análisis, se dividió la discusión de los resultados para cada zona de la ciudad en función de los factores de estudio que inciden en la calidad de aire. Las Estaciones procesadas son: Belisario, Cotocollao, Centro Histórico, El Camal, Carapungo, y Guamaní.

A continuación, se presentan las tablas y los gráficos correspondientes a cada estación del año 2007 y 2017. El análisis contiene: i) Análisis de las variaciones en el Uso de la Tierra; ii) Análisis de los promedios de calidad de aire por contaminante; iii) Cambios generados a lo largo de diez años; y finalmente iv) Comparación de los dos años de estudio.

4.2. Descripción Estaciones de monitoreo de Calidad de aire.

- Estación Belisario – Centro Norte

Como se evidencia en la Figura 15, para el caso de la Estación Belisario, ubicada en el Centro Norte de la ciudad de Quito, la distribución de arbustiva, bosques, suelos y zona urbana, presentan variaciones a la respuesta de cambio que ha surgido en estos diez años. Como se puede visualizar en más detalle en las Figuras 16 y 17 se observa que la masa forestal tiene un ligero incremento.

Específicamente, haciendo referencia a bosques, y como ya se estableció anteriormente se debe a los programas de reforestación creados por el Municipio de Quito en los años 90's.

Al analizar los porcentajes de la estación Belisario, se concluye que existe mayor participación de área urbana tanto para el año 2007, como para el año 2017, mostrando un crecimiento significativo; en el caso de arbustiva se puede manifestar que la variación no es significativa en relación al crecimiento porcentual observado.

La mayor diferencia encontrada se da entre el área urbana y suelos, teniendo un aumento de la parte urbana de un 30% y de suelos con un crecimiento de un 1% como se visualiza en la Figura 18.

Por otro lado, la estación Belisario presenta una tasa de disminución significativa en lo que es Ozono y $PM_{2.5}$ (ver Figuras 16 y 18). Esto puede dar lugar a una disminución de contaminantes en la atmósfera gracias a los cambios de cobertura (Figuras 15 y 17).

Al realizar una comparación entre los dos años de estudio 2007 y 2017 los cambios observados se enfocan en que el Dióxido de Azufre es uno de los contaminantes con mayor riesgo al ser un gas inflamable y claramente alcanza un porcentaje de un 64% a comparación de los demás contaminantes (Zalakeviciute, 2017), como se muestra en la Figura 18. Donde el Monóxido de Carbono y el Dióxido de Azufre NO_2 son los más representativos en esa zona.

Mientras que, para el NO_2 , como se puede ver en las Figuras 15 y 17 específicamente no existe información completa de los diez años de estudio, como para ciertas Estaciones de igual manera; por ende, no se visualizan el dato correspondiente a este contaminante.

Estación Belisario:

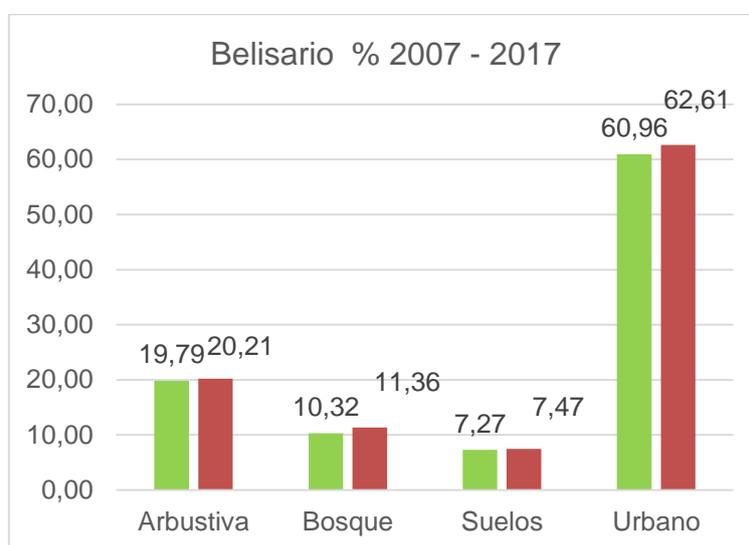


Figura 15. Comparativo de uso de tierra en un radio de 1500 metros alrededor de la Estación Belisario.

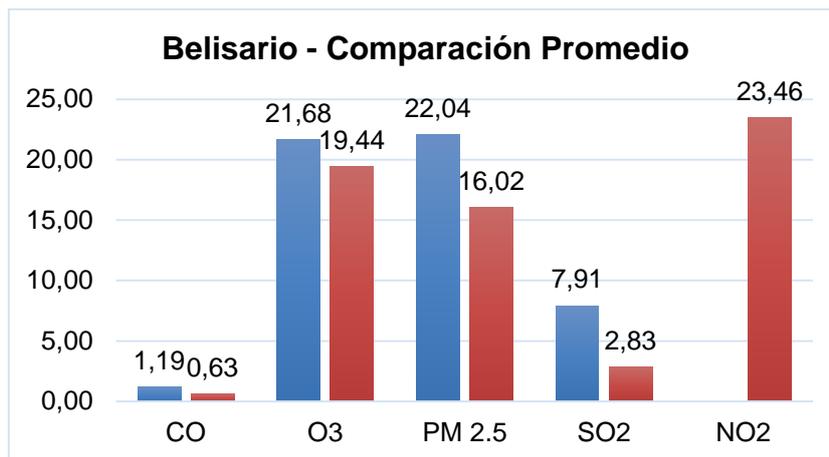


Figura 16. Comparativo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes de calidad de aire de los años 2007 y 2017 de la Estación Belisario.

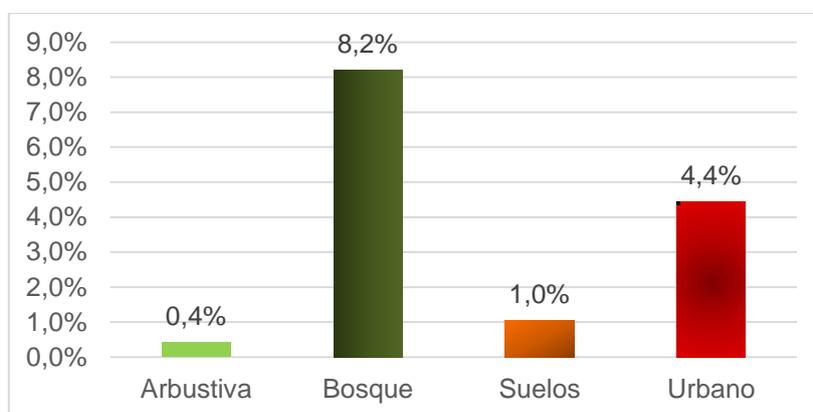


Figura 17. Tasa de Crecimiento de uso de la Tierra periodo 2007 y 2017 de la Estación Belisario.

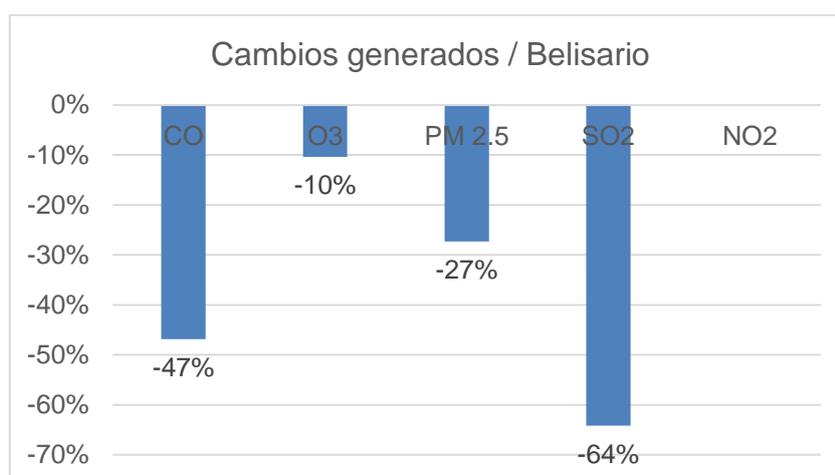


Figura 18. Porcentaje (%) de disminución de los contaminantes de la Estación Belisario.

Se determina además que los cambios generados en la estación Belisario, están representados en mayor grado por la cantidad de dióxido de azufre; mientras que el ozono no ha presentado mayores variaciones. Sin embargo, por los efectos negativos que presenta este contaminante se recomienda vigilancia, además el PM_{2.5} generó una disminución del 30% en comparación al 2007.

Tabla 11.

Datos de cuantificación de contaminantes de la estación Belisario

Belisario	2007	2017	% Crecimiento
CO	1.19	0.63	-47%
O3	21.68	19.44	-10%
PM 2.5	22.04	16.02	-27%
SO2	7.91	2.83	-64%
NO2	-	23.46	-

- Estación Cotocollao – Zona Norte

Se observa que, en la estación de Cotocollao, ubicada en la zona Norte de Quito (Figura 19), se ha incrementado la clase arbustiva en comparación con el resto de atributos. Sobre todo, con la clase correspondiente a suelos, demostrando así que la distribución de arbustiva, bosques, suelos y zona urbana, presentan diferentes porcentajes y validación de datos al ser Cotocollao una parroquia comercial, como se puede visualizar en las Figuras 20 y 21.

Se encuentra subdividida por ocho barrios los cuales al estar ubicados en una zona en crecimiento no se ha visto afectada por la mancha urbana. En las Figuras 21 y 22, se observa claramente los cambios generados en los contaminantes atmosféricos en esta parroquia, en donde el porcentaje (%) de disminución de los contaminantes más representativos de la estación de Cotocollao primeramente está el SO₂ con un 64 % seguido por el NO₂ con un valor de 47% de disminución.

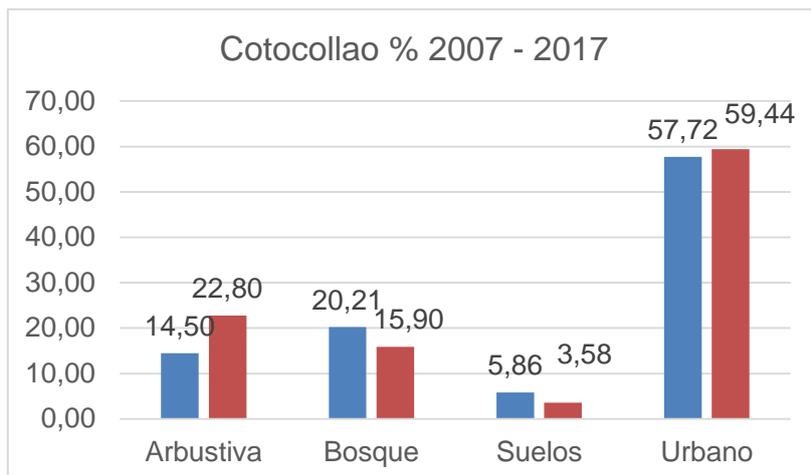


Figura 19. Comparativo de uso de tierra en un radio de 1500 metros alrededor de la Estación Cotocollao.

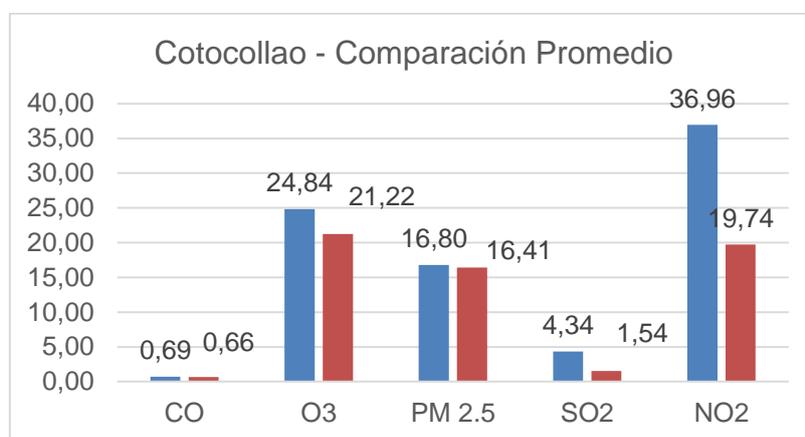


Figura 20. Comparativo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes de calidad de aire de los años 2007 y 2017 de la Estación Cotocollao

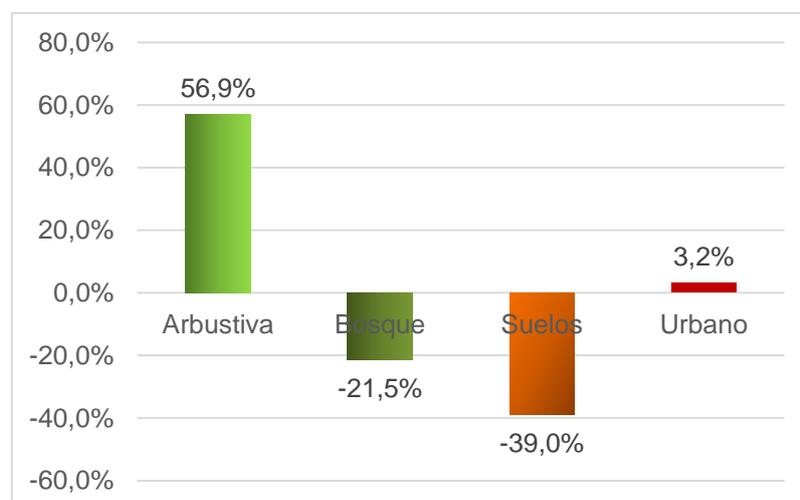


Figura 21. Tasa de Crecimiento de uso de la Tierra periodo 2007 y 2017 de la Estación Cotocollao.

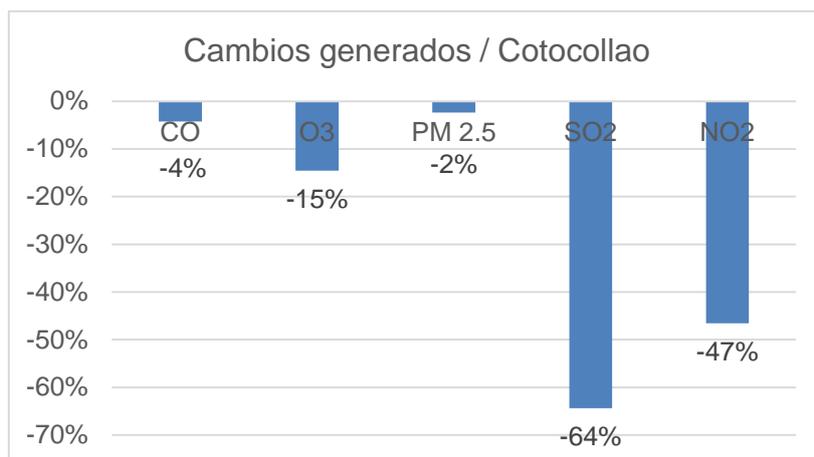


Figura 22. Porcentaje (%) de disminución de los contaminantes Estación Cotocollao.

Tabla 12.

Datos de cuantificación de contaminantes de la Cotocollao

Cotocollao	2007	2017	% Crecimiento
CO	0.69	0.66	-4%
O3	24.84	21.22	-15%
PM 2.5	16.80	16.41	-2%
SO2	4.34	1.54	-64%
NO2	36.96	19.74	-47%

En los datos de cuantificación de la tabla se puede observar las variaciones de la estación de monitoreo de Cotocollao tomando como referencia que en el año 2007 y 2017 existió un decrecimiento de SO_2 del 64%, de la misma manera con respecto a NO_2 los resultados se encuentran especificados por 47%.

- Estación Centro Histórico – Zona Centro

Al analizar los datos obtenidos de la estación Centro Histórico se determina que la clase urbana es la más predominante tanto para los años 2007 y 2017 (ver Figura 23) con un ligero aumento de la población para el año 2017. La clase de suelos se constituye como la de más baja proporción; así también se observa un decrecimiento de la clase arbustiva (ver Figura 23 y 25). Esta zona

es el conjunto histórico mejor conservado de América Latina, ubicado en la parte de mayor comercialización, turismo y tránsito de la ciudad de Quito. El centro histórico representa la planificación urbana de ejemplo español, donde no se pone mucho énfasis en zonas verdes, explicando la dominación de zona urbana.

Examinando los contaminantes atmosféricos estudiados se observa que existe mayor concentración de NO_2 con un índice de $28,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2017 (ver Figura 24), pero no se puede estimar el cambio, debido a que no existen datos con los cuales poder comparar con el año 2007.

El contaminante SO_2 , que se muestra en Figura 26, presentó cambios reductivos del 43,04% al comparar los años 2007 y 2017; y otra de las variaciones de mayor peso es la del O_3 cuyo resultado fue de 31,83%, existiendo una disminución considerable en el año 2017.

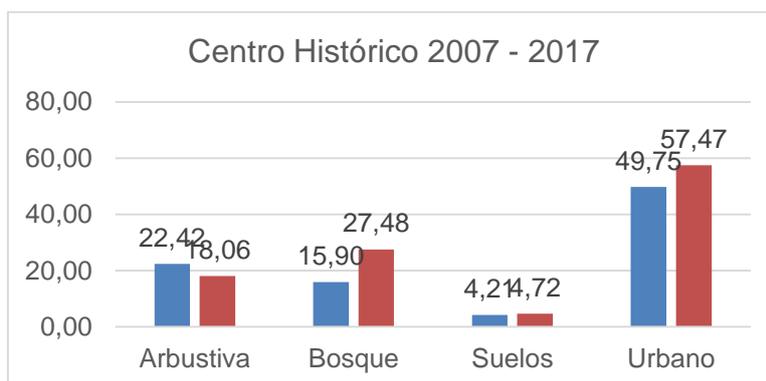


Figura 23. Comparativo de uso de tierra en un radio de 1500 metros alrededor de la Estación Centro Histórico.

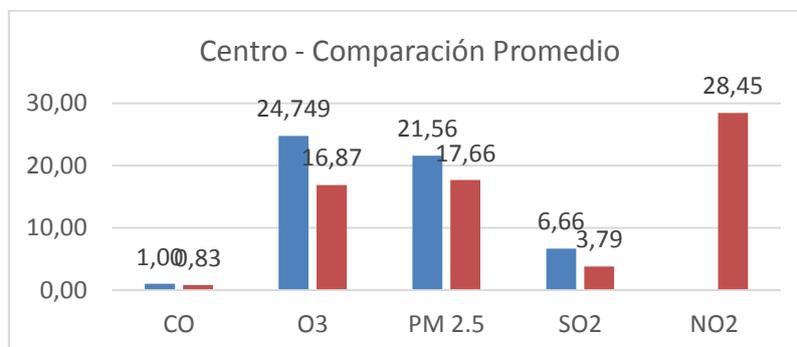


Figura 24. Comparativo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes de calidad de aire de los años 2007 y 2017 de la Estación Centro Histórico

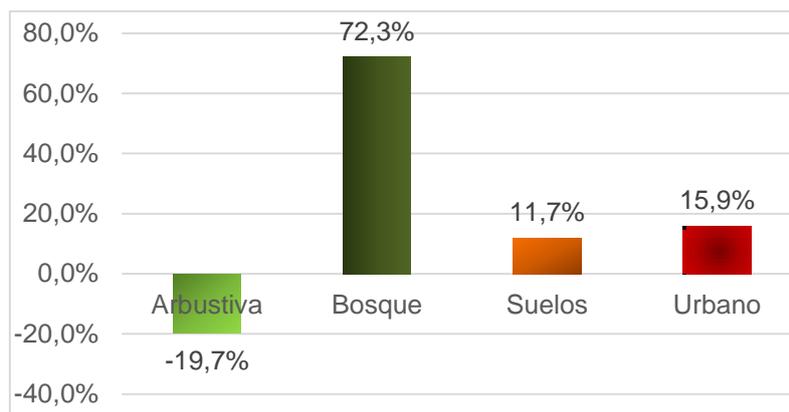


Figura 25. Tasa de Crecimiento de uso de la Tierra periodo 2007 y 2017 de la Estación Centro Histórico.

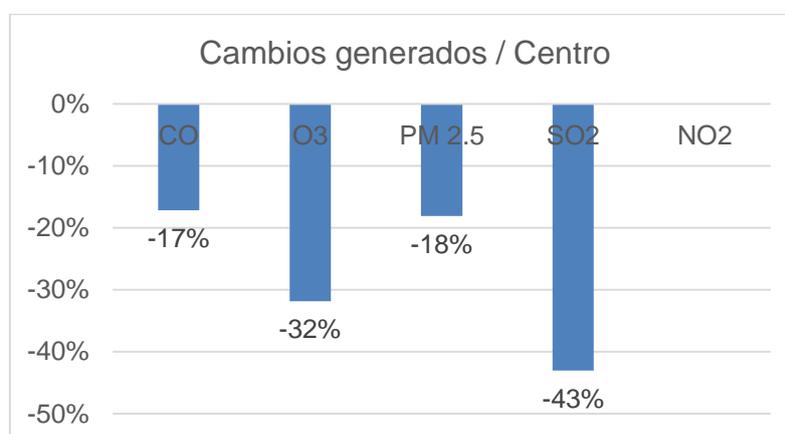


Figura 26. Porcentaje (%) de disminución de los contaminantes de la Estación Centro Histórico.

Tabla 13.

Datos de cuantificación de contaminantes de la estación Centro

Centro	2007	2017	%Crecimiento
CO	1.00	0.83	-17%
O3	24.749	16.87	-32%
PM 2.5	21.56	17.66	-18%
SO2	6.66	3.79	-43%
NO2	-	28.45	31,18%

- Estación El Camal – Zona Sur

Se determinó a través del análisis de la información obtenida que el uso de la tierra a un radio de 1500 metros de la estación El Camal predomina la clase urbana (Figura 14). En esta zona existe una gran estación de Trole Bus y un mercado presentando un porcentaje menor para áreas de revegetación y un decreciente en la clase arbustiva, como se puede observar en las Figuras 27 y 28.

En relación a los contaminantes estudiados, se observa en las Figuras 29 y 30 que el mayor cambio existente es también del elemento SO_2 con un 43%; seguido del CO con un índice de decrecimiento del 16%, $\text{PM}_{2.5}$ del 12% y finalmente de O_3 del 11%. No se han obtenido datos del NO_2 para realizar la respectiva comparación y se visualiza que en el 2017 fue de $31,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

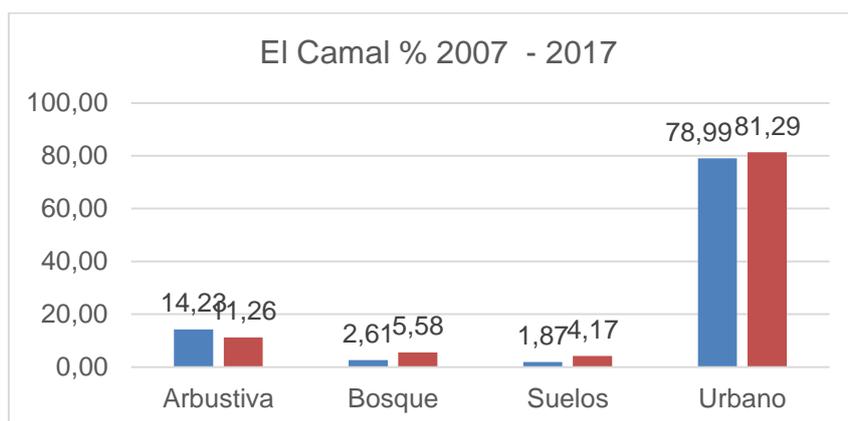


Figura 27. Comparativo de uso de tierra en un radio de 1500 metros alrededor de la Estación El Camal.

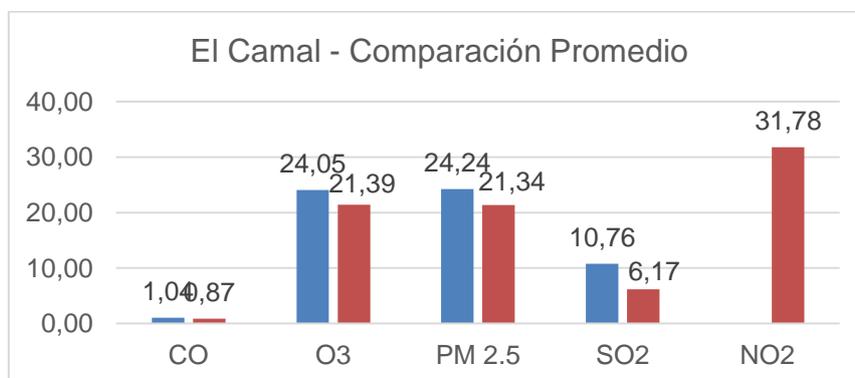


Figura 28. Comparativo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes de calidad de aire de los años 2007 y 2017 de la Estación El Camal

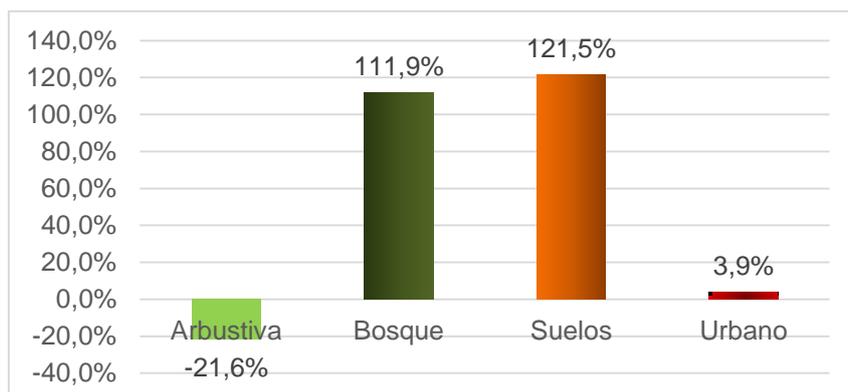


Figura 29. Tasa de Crecimiento de uso de la Tierra periodo 2007 y 2017 de la Estación El Camal.

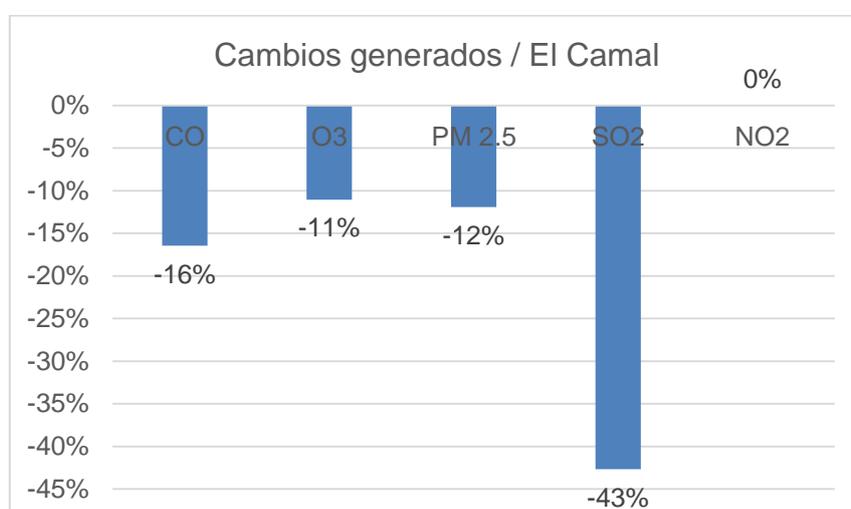


Figura 30. Porcentaje (%) de disminución de los contaminantes de la Estación El Camal.

Tabla 14.

Datos de cuantificación de contaminantes de la estación Camal

El Camal	2007	2017	% Corregimiento
CO	1.04	0.87	-16%
O3	24.05	21.39	-11%
PM 2.5	24.24	21.34	-12%
SO2	10.76	6.17	-43%
NO2	-	31.78	-

- Estación de Guamaní - Zona Sur

Al estudiar la estación Guamaní se determina que la clase urbana y arbustiva se encuentran en mayores niveles comparado a las otras Estaciones de la ciudad, lo cual realmente constituye un avance significativo en la zona (Figura 14).

Específicamente, se observa que la estación de Guamaní ocupa el segundo lugar con mayor crecimiento de la zona arbustiva con un 34.5%, después de la estación de Cotocollao. Se demostró que, mientras más grande se representó al buffer de la zona, es decir mientras más se aleja del punto de partida existe un aumento de cobertura forestal y esto representa que no se ha visto afectado por la mancha urbana.

Se visualiza en las Figuras 31 y 33 la falta de información de datos de los contaminantes de PM_{2.5}, SO₂, y NO₂, existente por fallas de los equipos o data en esta estación. Tabla 15 presenta un aumento de 30% en concentraciones de CO y una disminución en concentraciones de O₃ para el año 2017.

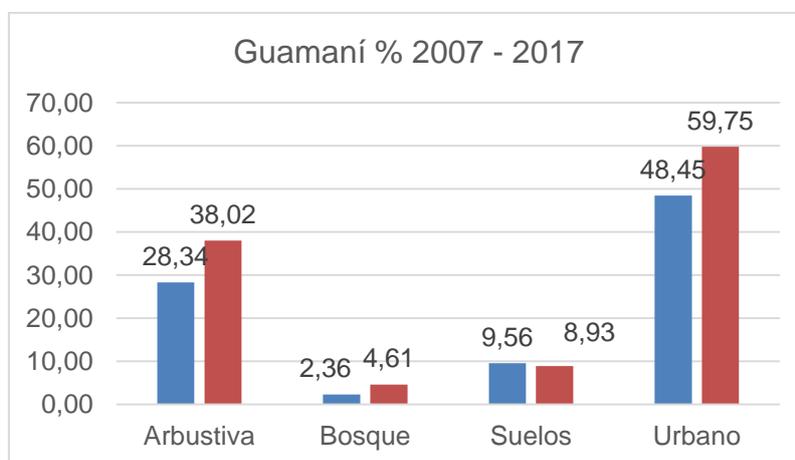


Figura 31. Comparativo de uso de tierra en un radio de 1500 metros alrededor de la Estación Guamaní.

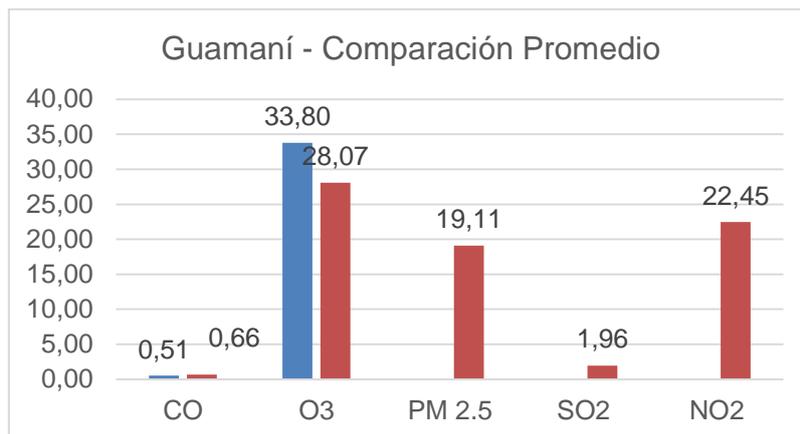


Figura 32. Comparativo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes de calidad de aire de los años 2007 y 2017 de la Estación Guamaní.

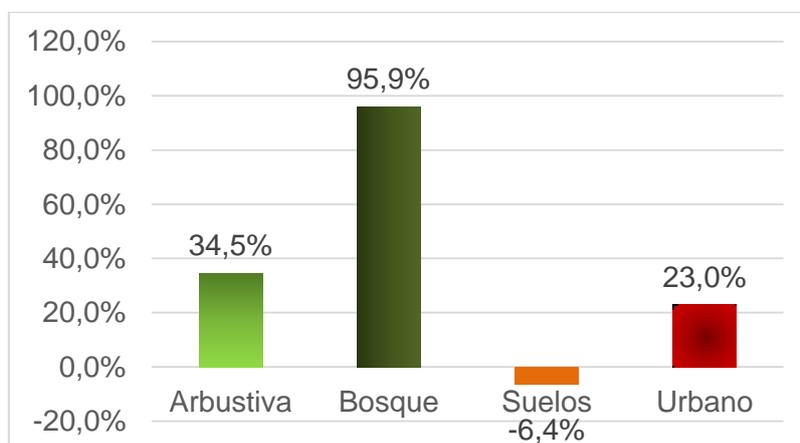


Figura 33. Tasa de Crecimiento de uso de la Tierra periodo 2007 y 2017 de la Estación Guamaní.

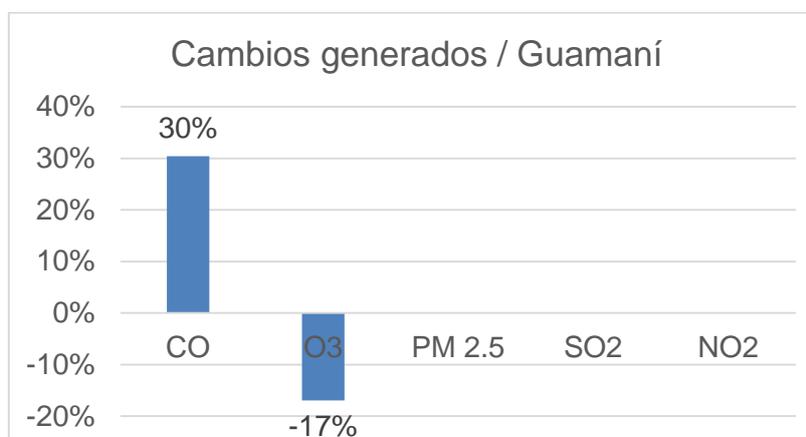


Figura 34. Porcentaje (%) de disminución de los contaminantes Estación Guamaní

Tabla 15.

Datos de cuantificación de contaminantes de la estación Guamaní

Guamaní	2007	2017	2017%
CO	0.51	0.66	30%
O3	33.80	28.07	-17%
PM 2.5	-	19.11	-
SO2	-	1.96	-
NO2	-	22.45	-

Estación de Carapungo - Afueras de la Ciudad zona Norte

En la Estación de Carapungo (Figura 35), por ser una parroquia de actividad comercial intensa se visualiza que, en los años 2007 y 2017, se tuvo una mayor presencia la clase urbana con el 58,19% y 68,84%, respectivamente. Con el aumento de grandes proyectos y negocios en la zona, como se observa en la Figura 36 y 37, el transporte se ha visto necesitado por ser una zona de alta expansión territorial donde la clase arbustiva en los mismos años tuvo un 17,49% y 12,80% respectivamente; notándose en leve decrecimiento en dicha clase.

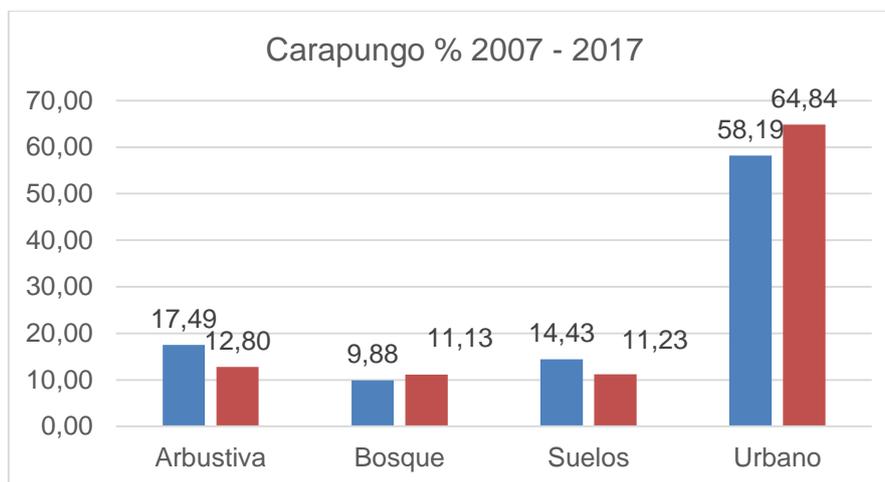


Figura 35. Comparativo de uso de tierra en un radio de 1500 metros alrededor de la Estación Carapungo.

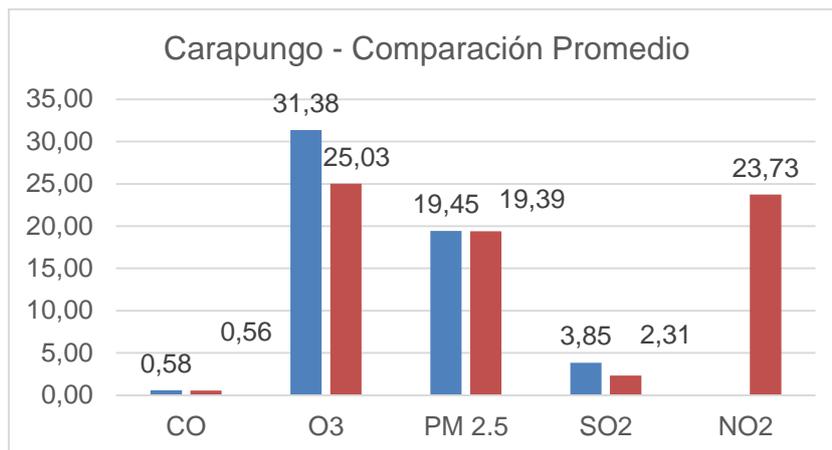


Figura 36. Comparativo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de contaminantes de calidad de aire de los años 2007 y 2017 de la Estación Carapungo

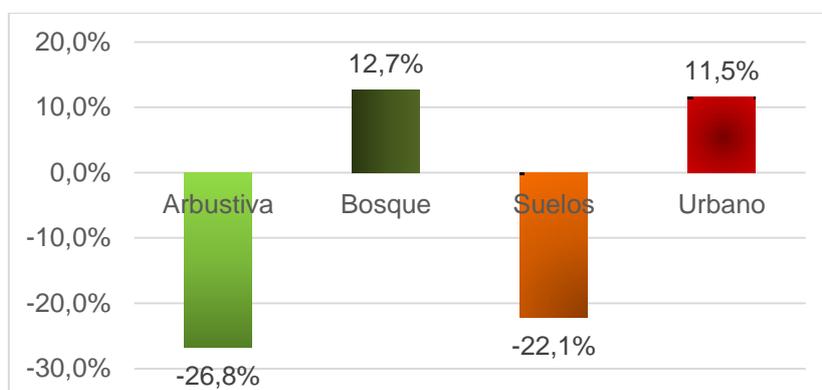


Figura 37. Tasa de Crecimiento de uso de la Tierra periodo 2007 y 2017 de la Estación Carapungo

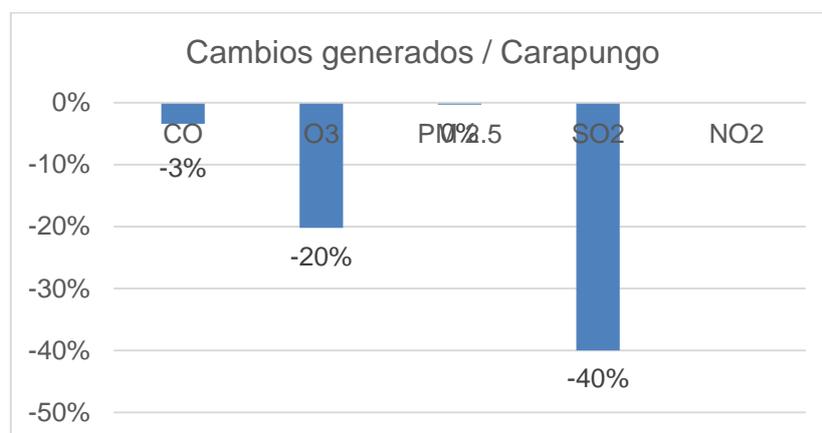


Figura 38. Porcentaje (%) de disminución de los contaminantes de la Estación Carapungo

Tabla 16.

Datos de cuantificación contaminantes de la estación Carapungo

Carapungo	2007	2017	% Corregimiento
CO	0.58	0.56	-3%
O3	31.38	25.03	-20%
PM 2.5	19.45	19.39	0%
SO2	3.85	2.31	-40%
NO2	-	23.73	-

Con respecto a los datos de cuantificación, sobre la clasificación de Carapungo, se obtiene que existe una variación de 3% de CO, así mismo se obtiene un 20% menos de O₃, y un 40% menos de SO₂. Los otros contaminantes no muestran cambios.

5. CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Considerando el estudio denominado “Informe sobre el estado del medio ambiente” realizado por Geo Ecuador (2008), se determina que en el Ecuador las ciudades con mayores problemas ambientales de manera específica la calidad del aire, son Quito, Guayaquil y Cuenca; debido a la gran concentración de habitantes y el alto nivel de industrias en dichas ciudades.

La ciudad de Quito es la única que posee una red automatizada de monitoreo atmosférico, tal como se ha demostrado en el estudio; al haber realizado el análisis de 5 de las 9 Estaciones ubicadas en el Distrito Metropolitano. En dichas Estaciones se realiza un seguimiento exhaustivo de contaminantes críticos (Geo Ecuador, 2008).

Es importante determinar los límites permisibles de contaminantes en el aire por lo cual se ha revisado la Norma de Calidad del Aire Ambiente Ecuatoriana, la misma que establece:

- Material Particulado menor a 2.5 micrones (PM_{2.5}): deberá contar con un promedio aritmético de concentración en un año de máximo 15 microgramos por metro cúbico (15 µg/m³).
- Dióxido de azufre (SO₂): El promedio permisible es de ochenta microgramos por metro cúbico (80 µg/m³).
- Monóxido de carbono (CO): El máximo nivel de concentración de las muestras en un tiempo estimado de 8 horas, no excederá los diez mil microgramos por metro cúbico (10000 µg/m³).
- Óxidos de nitrógeno NO₂: NO deberá exceder los 100 microgramos por metro cúbico (100 µg/m³).

Al realizar el análisis de los promedios obtenidos de la información recolectada de las Estaciones, se han determinado los promedios de cada año y por cada contaminante (ver Tabla 17).

Tabla 17.

Promedios de contaminantes por estación 2007

Estaciones	AÑO 2007				
	CO	O ₃	PM _{2.5}	SO ₂	NO ₂
Belisario	1,19	21,68	22,04	7,91	0
Cotocollao	0,69	24,84	16,8	4,34	36,96
Centro H.	1	24,749	21,56	6,66	0
El Camal	1,04	24,05	24,24	10,76	0
Guamaní	0,51	33,8	0	0	0
Carapungo	0,58	31,38	19,45	3,85	0

Tabla 18.

Promedios de contaminantes por estación 2017

Estaciones	AÑO 2017				
	CO	O ₃	PM _{2.5}	SO ₂	NO ₂
Belisario	0,63	19,44	16,02	2,83	23,46
Cotocollao	0,66	21,22	16,41	1,54	19,74
Centro H.	0,83	16,87	17,66	3,79	28,45
El Camal	0,87	21,39	21,34	6,17	31,78
Guamaní	0,66	28,07	19,11	1,96	22,45
Carapungo	0,56	25,03	19,39	2,31	23,73

En el año 2006 en el Informe anual de la calidad del aire en Quito, se concluyó que el principal contaminante atmosférico es la emisión de Material Particulado fino ($PM_{2.5}$), debido a que este componente excedió el límite permisible de la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire en la mayoría de meses de dicho año. Los contaminantes CO , CO_2 , NO_2 , y O_3 se encontraron dentro de los límites permisibles por lo cual no hay observaciones urgentes.

En el año 2017 nuevamente se observa que en las Estaciones estudiadas la emisión de Material Particulado fino ($PM_{2.5}$) incumple con lo establecido en la norma, ya que los límites nuevamente exceden el permitido, concluyendo así que este contaminante se ha convertido en un problema para la ciudadanía por los efectos nocivos que tiene para la salud de los seres vivos.

Mediante un análisis realizado, basándose en datos obtenidos de la página oficial del Gobierno Ecuador en cifras – Censo de Población y Vivienda” (INEC, 2010), se determinó que 48.855 habitantes viven en un área aproximada de 7.069 km^2 .

5.1 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Es conocido que existe una relación entre una variable denominada dependiente y otra denominada independiente; como por ejemplo la relación existente entre los atributos de uso de un suelo y los contaminantes estudiados resultantes de la calidad de aire de un lugar.

El presente trabajo de titulación ha considerado las siguientes variables de estudio:

- **Variable Dependiente**

La Calidad del Aire

- **Variable Independiente**

El efecto de los cambios de la cobertura forestal

Asimismo, se han considerado las siguientes hipótesis de estudio:

- **Hipótesis Alternativa**

Los cambios de la cobertura forestal inciden en la calidad del aire de la ciudad de Quito.

- **Hipótesis Nula**

Los cambios de la cobertura forestal no inciden en la calidad del aire de la ciudad de Quito.

Dado ese tipo de relaciones, se recurre a estudios de regresión, en los cuales se obtiene una relación denominada función, donde la variable independiente se asocia con un indicador de tendencia central de la variable dependiente. Es importante mencionar que en términos generales, una función es un tipo de relación en la cual para cada valor de la variable independiente le corresponde uno y sólo un valor de la variable dependiente.

La regresión y la correlación son dos técnicas estadísticas que se pueden utilizar para solucionar problemas comunes en los negocios. Muchos estudios se basan en la creencia de que es posible identificar y cuantificar alguna Relación Funcional entre dos o más variables, donde una variable depende de la otra variable. Se puede decir que Y depende de X, en donde Y y X son dos variables cualquiera en un modelo de Regresión Simple.

Para establecer la correlación entre los diferentes contaminantes estudiados y los atributos de cobertura forestal (arbustiva y bosques), en cada una de las estaciones dentro de la ciudad de Quito, se analizaron los resultados estadísticos obtenidos en el cruce de variables, realizado en el programa Excel; donde básicamente el factor " R^2 " determina si la correlación es positiva o negativa, y el factor "Valor crítico de F" determina si tiene significancia (<

0.001), o no tiene significancia (>0.001). El nivel de significancia de una prueba estadística es un concepto estadístico asociado a la verificación de una hipótesis. En pocas palabras, se define como la probabilidad de tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera (decisión conocida como error de tipo I, o "falso positivo").

Estación Belisario

En la estación Belisario se puede evidenciar que existe un crecimiento importante de las áreas forestales, tomando en cuenta que es una zona densamente poblada dentro de la zona urbana de la ciudad y ello limita el crecimiento de las áreas verdes; sin embargo, se observa una disminución importante en el caso de contaminantes como: Monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Azufre (SO₂); en cuanto al resto de contaminantes, en el transcurso del tiempo no se observan cambios significativos. En el área de Belisario se encuentran importantes proyectos de revegetación, entre ellos el más importante es el Parque Bicentenario, que es un aporte para la descontaminación del aire, ya que cesaron las funciones del aeropuerto Mariscal Sucre en dicho lugar, y con ello la emisión de contaminantes de aeronaves.

Se puede mencionar además que la zona en la que se encuentra la estación Belisario, es de tránsito o paso que comunica a Quito Central con Quito Norte, por esta zona atraviesan vías de uso masivo del parque automotor en la capital. Por ello, en los datos se puede observar que las curvas muestran una relación inversa entre el carbono orgánico que se explica con el valor de 0.55 de R² (Ver tabla 19), y la superficie forestal con los niveles de monóxido de carbono, ajustado a los valores de las estadísticas de regresión. Las ilustraciones de correlación de la estación Belisario se presentan en las siguientes figuras: (Inicio, Figura 39/ Figura 46, Final).

Belisario: CO/ARBUSTIVA

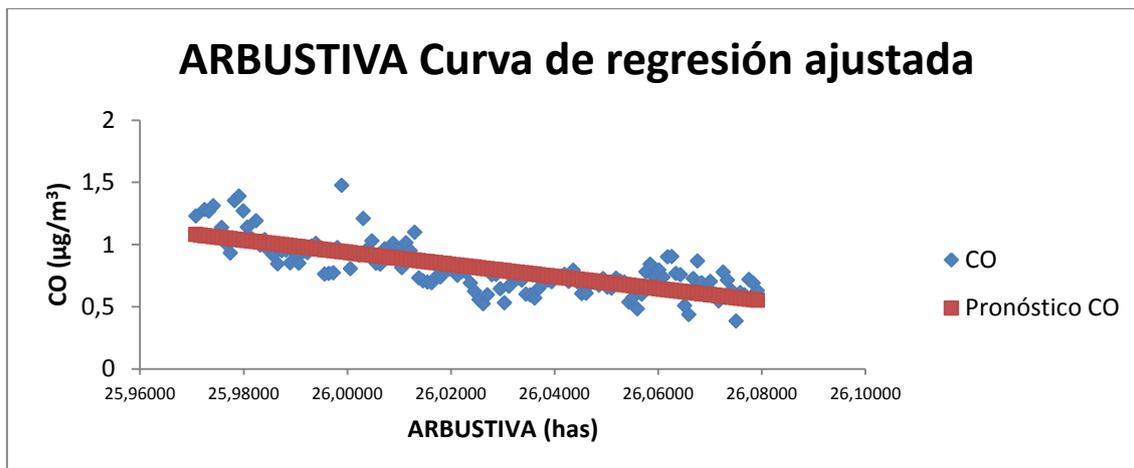


Figura 39. Correlación CO: Arbustiva Estación Belisario

Tabla 19.

Correlación CO: Arbustiva Estación Belisario

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,745187058
Coefficiente de determinación R ²	0,555303751
R ² ajustado	0,551883011
Error típico	0,138431342
Observaciones	132

<i>ANÁLISIS DE VARIANZA</i>					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	3,110852012	3,110852012	162,3343751	1,23993E-24
Residuos	130	2,491220736	0,019163236		
Total	131	5,602072748			

Como se puede apreciar en la Figura 39, el R² presenta una correlación positiva moderada; y al analizar el valor crítico de F, se establece que existe significancia entre las dos variables; es decir, se establece una relación inversa entre el CO y la cobertura Arbustiva, lo que significa que, mientras aumenta la cobertura Arbustiva, el CO presenta tendencias de disminución.

Belisario: CO/BOSQUE

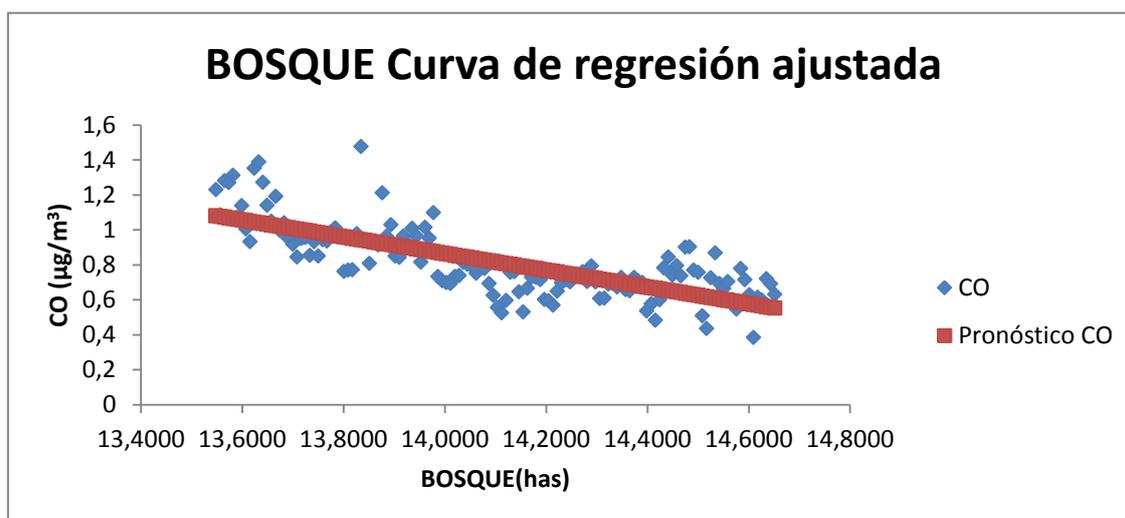


Figura 40. Correlación CO: Bosque Estación Belisario

Tabla 20.

Correlación CO: Bosque Estación Belisario

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,745187058
Coefficiente de determinación R^2	0,555303751
R^2 ajustado	0,551883011
Error típico	0,138431342
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	3,110852012	3,110852012	162,3343751	1,23993E-24
Residuos	130	2,491220736	0,019163236		
Total	131	5,602072748			

Como se puede apreciar en la Figura 40, el R^2 presenta una correlación positiva moderada; y de igual manera que en el caso de arbustiva, al analizar el valor crítico de F, se establece que tiene significancia con un valor de 0.001; estableciéndose una relación inversa que indica que mientras crece el factor cobertura de Bosque, tiende a disminuir la concentración de CO.

Belisario: O₃/ARBUSTIVA

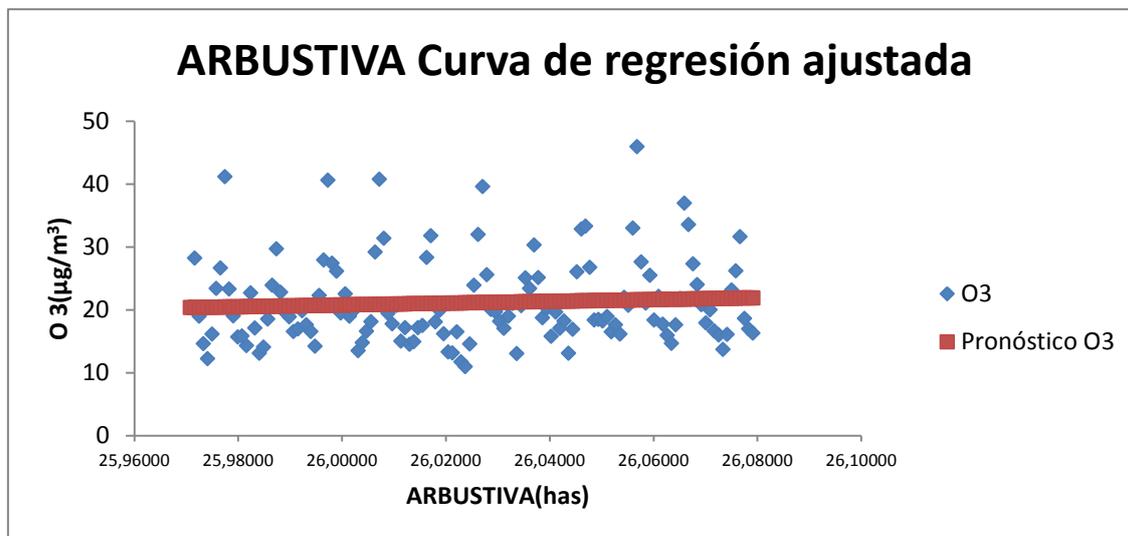


Figura 41. Correlación O₃: Arbustiva Estación Belisario

Tabla 21.

Correlación O₃: Arbustiva Estación Belisario

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,066776311
Coefficiente de determinación R ²	0,004459076
R ² ajustado	-0,00319893
Error típico	6,791287101
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	26,85550114	26,85550114	0,582276255	0,44680398
Residuos	130	5995,805463	46,12158048		
Total	131	6022,660964			

Existe una correlación negativa no significativa entre la clase arbustiva y el contaminante O₃, presentando un valor crítico de $F > 0.001$; lo que significa que no se evidencia una relación directa o de influencia entre los dos factores.

Belisario: O₃/BOSQUE

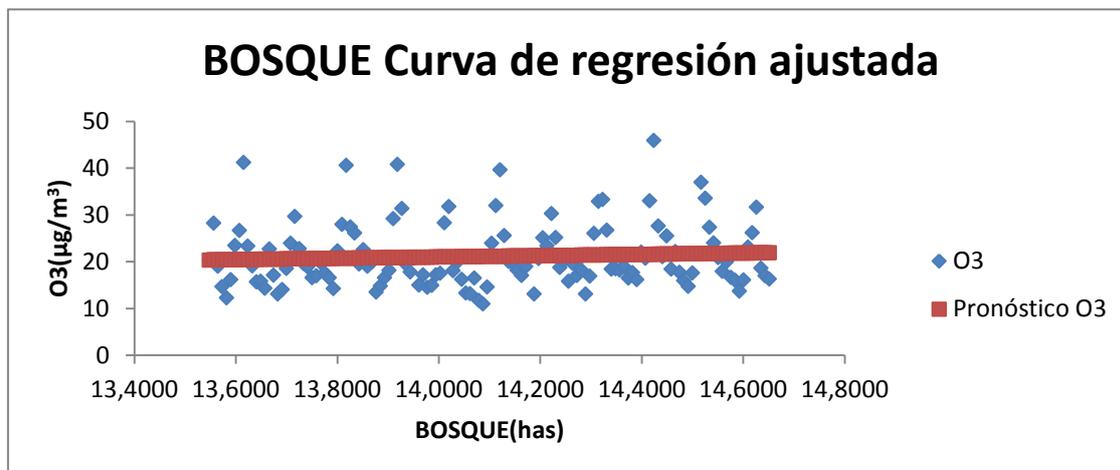


Figura 42. Correlación O₃: Bosque Estación Belisario

Tabla 22.
Correlación O₃: Bosque Estación Belisario

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,06677631
Coefficiente de determinación R ²	0,00445907
R ² ajustado	0,00319893
Error típico	6,79128710
Observaciones	1
	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	26,8555011	26,85550114	0,58227625	0,4468039
Residuos	130	5995,80546	46,12158048	5	8
Total	131	6022,66096	4		

Existe una correlación negativa no significativa entre el atributo cobertura de Bosque y el contaminante atmosférico Ozono troposférico, lo que significa que no se evidencia una relación directa o de influencia entre los dos factores.

Belisario: PM_{2.5}/ARBUSTIVA

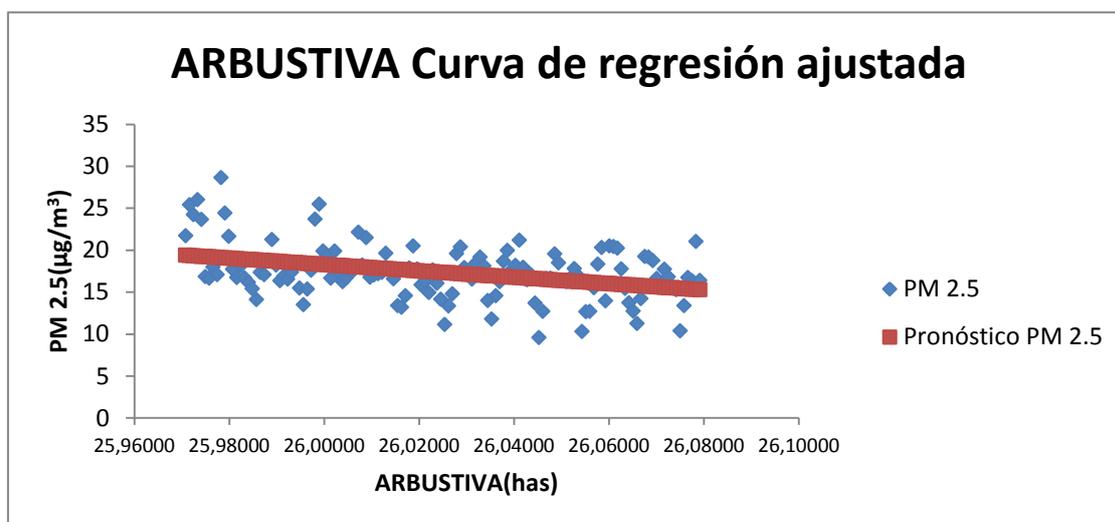


Figura 43. Correlación PM_{2.5}: Arbustiva Estación Belisario

Tabla 23.
Correlación PM_{2.5}: Arbustiva Estación Belisario

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,374151788
Coefficiente de determinación R ²	0,139989561
R ² ajustado	0,133374096
Error típico	2,981238168
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	188,0739412	188,0739412	21,1609558	9,89759E-06
Residuos	130	1155,411532	8,887781014		
Total	131	1343,485473			

Existe una correlación positiva que a pesar de ser baja, si es significativa entre la clase arbustiva y el contaminante PM_{2.5}, presentando un valor crítico de $F < 0.001$; por tanto, se establece una relación inversa, ya que mientras crece el factor de cobertura Arbustiva, el contaminante PM_{2.5} tiende a disminuir.

Belisario: PM_{2.5}/BOSQUE

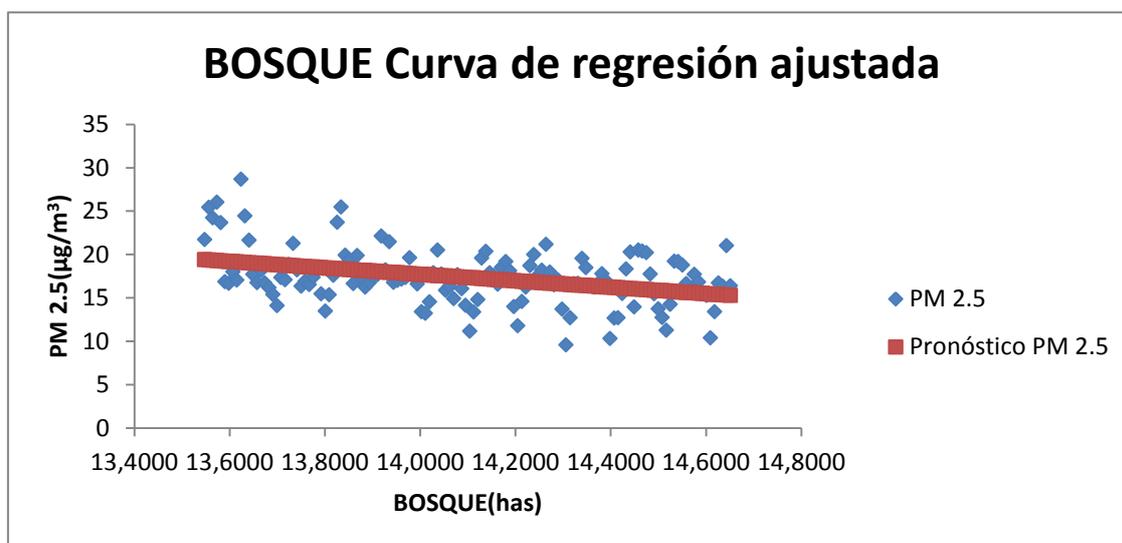


Figura 44. Correlación PM_{2.5}: Bosque Estación Belisario

Tabla 24.

Correlación PM 2.5: Bosque Estación Belisario

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,37415178
Coefficiente de determinación R ²	0,13998956
R ² ajustado	0,13337409
Error típico	2,98123816
Observaciones	8
	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	188,073941	188,0739412	21,160955	9,89759E-06
Residuos	130	1155,41153	8,887781014	8	
Total	131	1343,48547	3		

Presenta una correlación positiva que a pesar de ser baja, tiene significancia entre el factor bosque y el contaminante PM_{2.5}, presentando un valor crítico de $F < 0.001$; por tanto, se establece una relación inversa, ya que mientras crece el factor de Bosque, el contaminante PM_{2.5} disminuye.

Belisario: SO₂/ARBUSTIVA

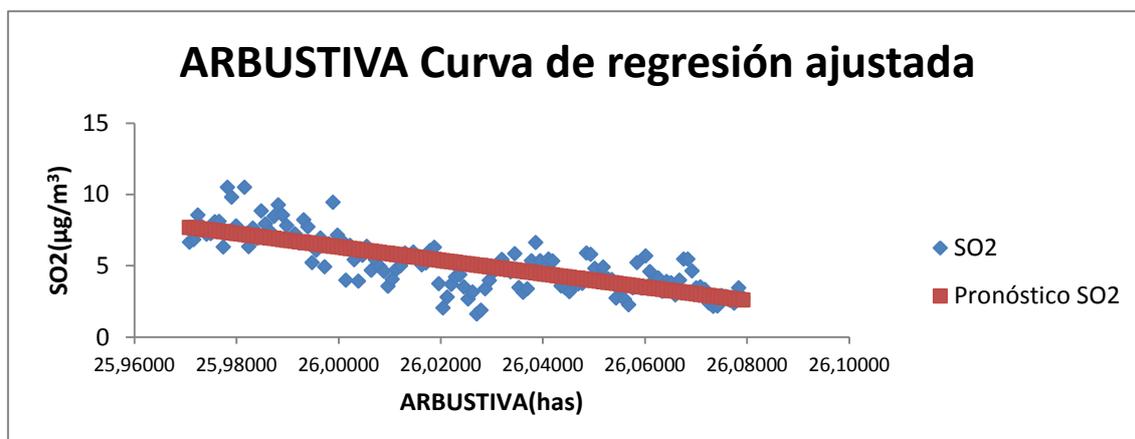


Figura 45. Correlación SO₂: Arbustiva Estación Belisario

Tabla 25.
Correlación SO₂: Arbustiva Estación Belisario

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,757232946
Coefficiente de determinación R ²	0,573401735
R ² ajustado	0,57012021
Error típico	1,288349169
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	290,0350163	290,0350163	174,7363544	8,19841E-26
Residuos	130	215,7796656	1,659843582		
Total	131	505,8146819			

Como se puede apreciar en la Figura 45, el R² presenta una correlación positiva moderada; y al analizar el valor crítico de F, se establece que, si tiene significancia, ya que el valor presentado da como resultado un valor menor a 0.001; por tanto, se establece una relación inversa, lo que indica que a medida que el factor de cobertura Arbustiva incrementa, el contaminante SO₂ disminuye.

Belisario: SO₂/BOSQUE

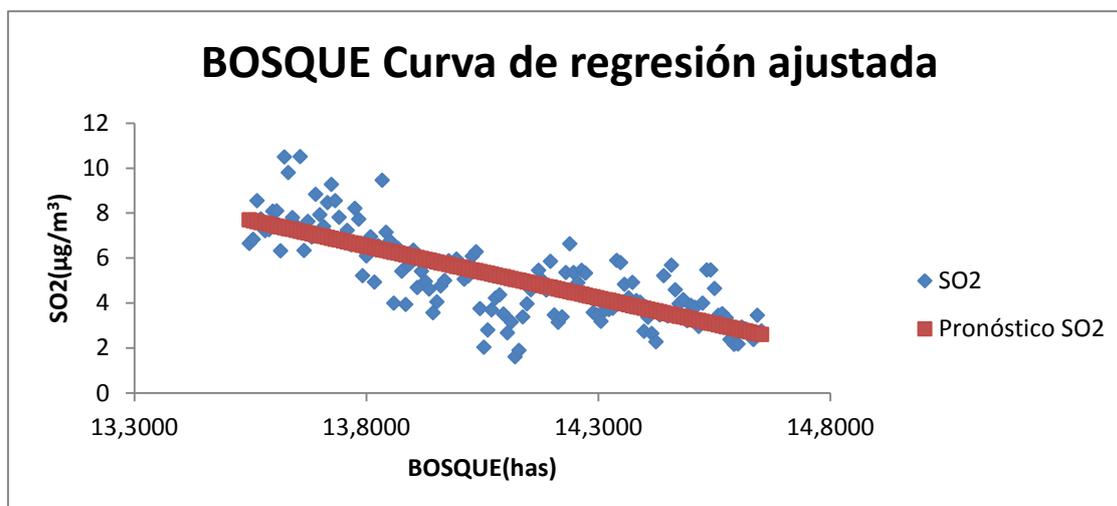


Figura 46. Correlación SO₂: Arbustiva Estación Belisario

Tabla 26.
Correlación SO₂: Arbustiva Estación Belisario

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,75723294
Coefficiente de determinación R ²	0,57340173
R ² ajustado	0,57012021
Error típico	1,28834916
Observaciones	9
	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	290,035016	290,0350163	174,736354	8,19841E-26
Residuos	130	215,779665	1,659843582		
Total	131	505,814681			

Se observa que la correlación es positiva moderada, con significancia entre la zona arbustiva y el contaminante SO₂, presentando un valor crítico de $F < 0.001$, de la estación de Belisario; por tanto, se establece una relación inversa, ya que mientras crece el factor de cobertura Arbustiva, el contaminante SO₂ disminuye.

Estación Carapungo

En la estación Carapungo se puede observar que no existe un crecimiento significativo de las áreas forestales, lo cual se ve reflejado también en los resultados obtenidos de las correlaciones entre los factores de arbustiva y bosques con los contaminantes, es así que solamente el contaminante Dióxido de Azufre (SO_2) presenta una relación inversa, ya que mientras crecen los factores forestales, el contaminante presentó tendencias de disminución, no así con los otros contaminantes que no presentan cambios significativos.

En el sector de Carapungo se ha dado un crecimiento del parque industrial de la ciudad, y al ser una zona periférica posee áreas vegetativas que han mermado el incremento de los contaminantes en la zona, y en cierta medida se ha dado la disminución de SO_2 .

Las ilustraciones de correlación de la estación Carapungo se presentan en las siguientes figuras: (Inicio, Figura 47/ Figura 54, Final).

Carapungo: CO/ARBUSTIVA

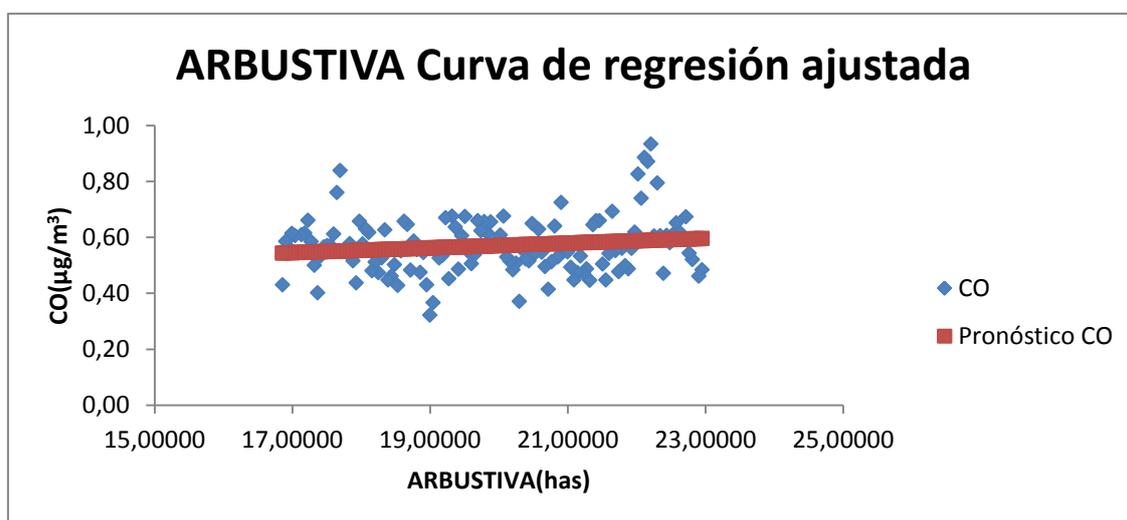


Figura 47. Correlación CO: Arbustiva Estación Carapungo

Tabla 27.
Correlación CO: Arbustiva Estación Carapungo

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,14919079
Coefficiente de determinación R ²	0,02225789
R ² ajustado	0,0147368
Error típico	0,10111184
Observaciones	132

ANÁLISIS DE
 VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,03025569	0,03025569	2,959395776	0,08775931
Residuos	130	1,32906841	0,0102236		
Total	131	1,3593241			

Como se puede apreciar en la Figura 46, el R², se presenta una correlación positiva pero baja; y al analizar el valor crítico de F, se establece que no es significativa, es decir no se observa una influencia significativa entre las variables arbustiva y monóxido de carbono.

Carapungo: CO/BOSQUE

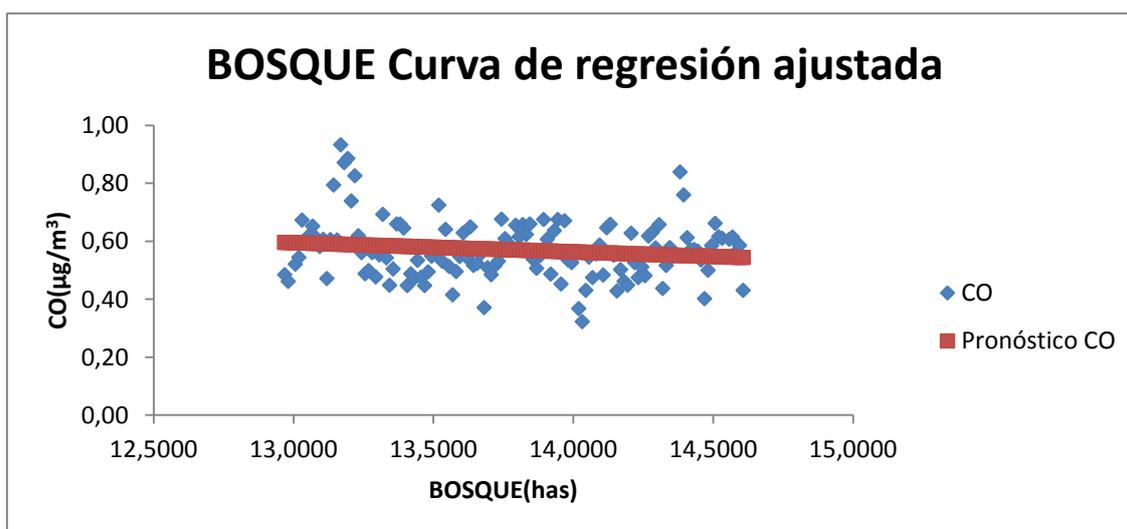


Figura 48. Correlación CO: Bosque Estación Carapungo

Tabla 28.
Correlación CO: Bosque Estación Carapungo

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,1491907
Coefficiente de determinación R ²	0,0222578
R ² ajustado	0,0147368
Error típico	0,1011118
Observaciones	4
	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,0302556	0,03025569	2,9593957	0,0877593
Residuos	130	1,3290684	0,0102236	8	1
Total	131	1,3593241			

En relación al Bosque y el contaminante CO, la estación de Carapungo, presenta una correlación positiva baja; y al analizar el valor crítico de F, se establece que no es significativa, es decir no se observa una influencia significativa entre las variables bosque y monóxido de carbono.

Carapungo: O₃/ARBUSTIVA

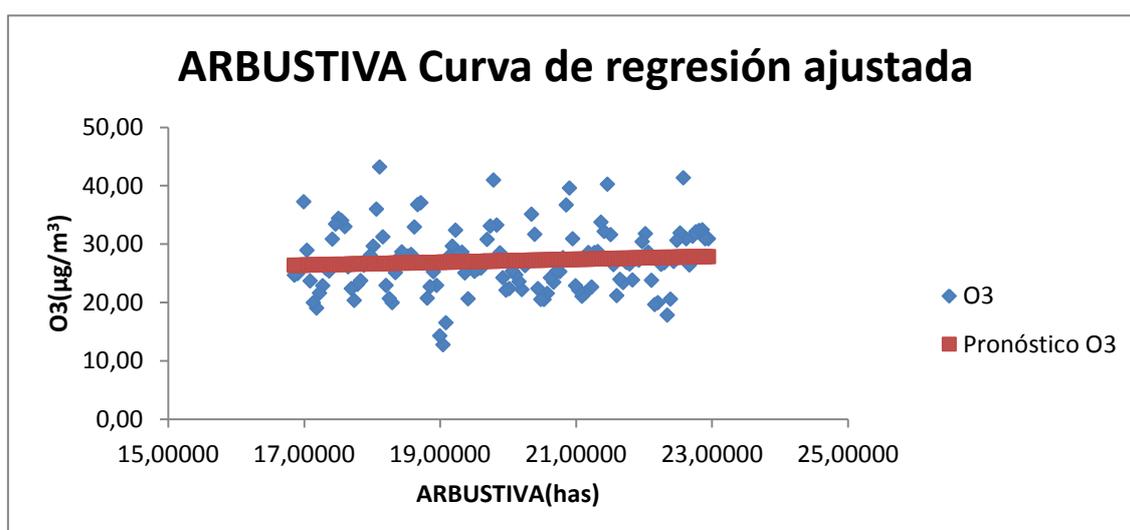


Figura 49. Correlación O₃: Arbustiva Estación Carapungo

Tabla 29.
Correlación O₃: Arbustiva Estación Carapungo

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,08024556
Coefficiente de determinación R ²	0,00643935
R ² ajustado	-0,00120342
Error típico	5,51601383
Observaciones	132

ANÁLISIS DE
VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	25,6354938	25,6354938	0,842540905	0,360370917
Residuos	130	3955,43311	30,4264085		
Total	131	3981,0686			

Como se puede apreciar en la Figura 48, el R², presenta una correlación negativa; y al analizar el valor crítico de F, se establece que no es significativa, entre arbustiva y ozono troposférico, lo que significa que no se establece ningún tipo de relación de influencia entre las dos variables.

Carapungo: O₃/BOSQUE

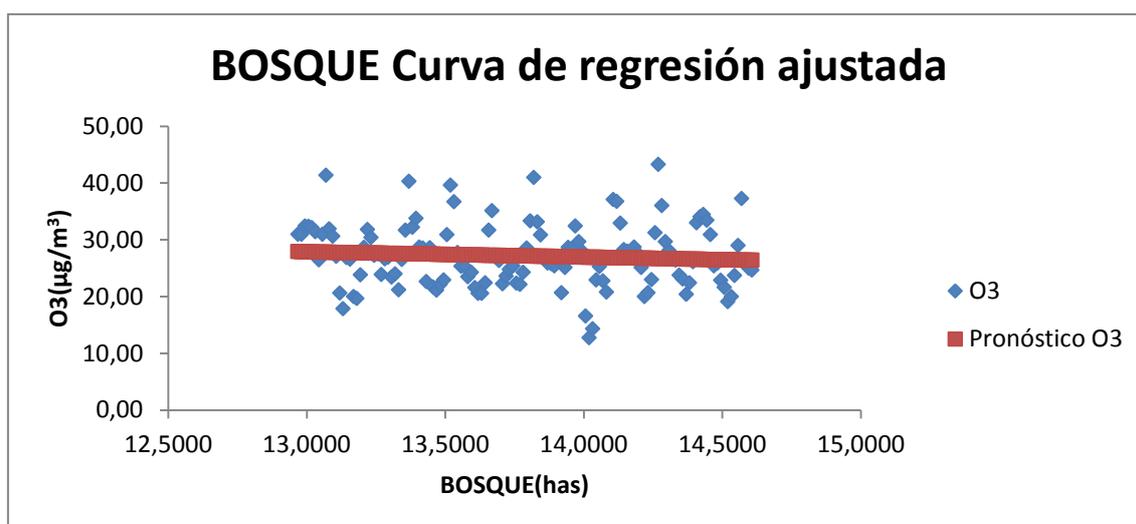


Figura 50. Correlación O₃: Bosque Estación Carapungo

Tabla 30.
Correlación O₃: Bosque Estación Carapungo

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,0802455
Coefficiente de determinación R ²	0,0064393
R ² ajustado	0,0012034
Error típico	5,5160138
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	25,6354938	25,6354938	0,8425409	0,36037092
Residuos	130	3955,4331	30,4264085		
Total	131	3981,0686			

Presenta una correlación negativa, sin significancia entre el bosque y el contaminante O₃, presentando un valor crítico de $F > 0.001$; lo que significa que no se establece ningún tipo de relación de influencia entre las dos variables.

Carapungo: PM_{2.5}/ARBUSTIVA

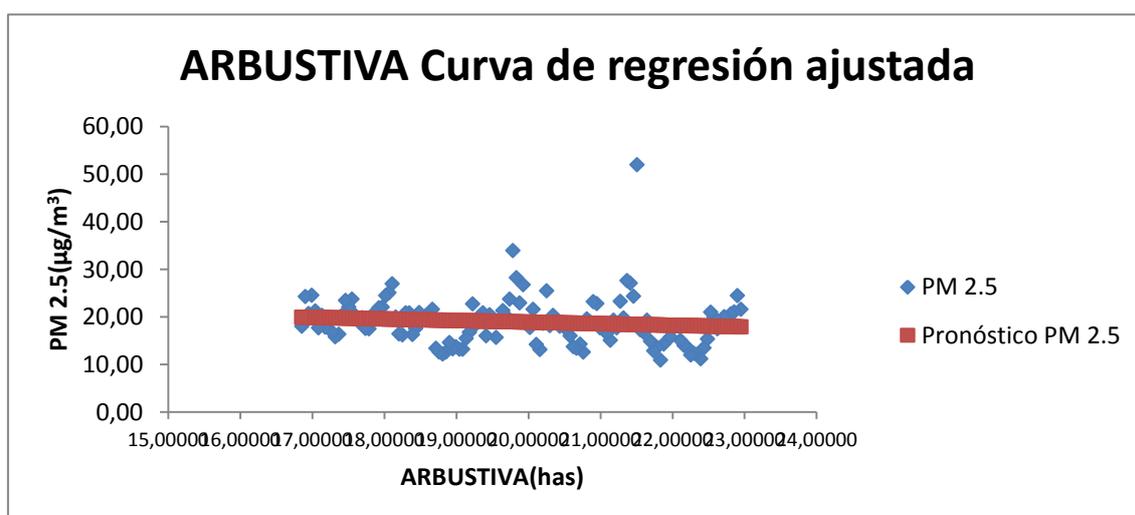


Figura 51. Correlación PM_{2.5}, Arbustiva Estación Carapungo

Tabla 31.
Correlación PM_{2.5}: Arbustiva Estación Carapungo

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,11855754
Coefficiente de determinación R ²	0,01405589
R ² ajustado	0,0064717
Error típico	4,97439843
Observaciones	132

ANÁLISIS
DE
VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	45,8596297	45,8596297	1,853315713	0,175753172
Residuos	130	3216,80317	24,7446398		
Total	131	3262,6628			

Como se puede apreciar en la Figura 50, el R², presenta una correlación positiva baja; y al analizar el valor crítico de F, se establece que no es significativa, entre arbustiva y el Material Particulado (PM_{2.5}); lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Carapungo: PM_{2.5}/BOSQUE

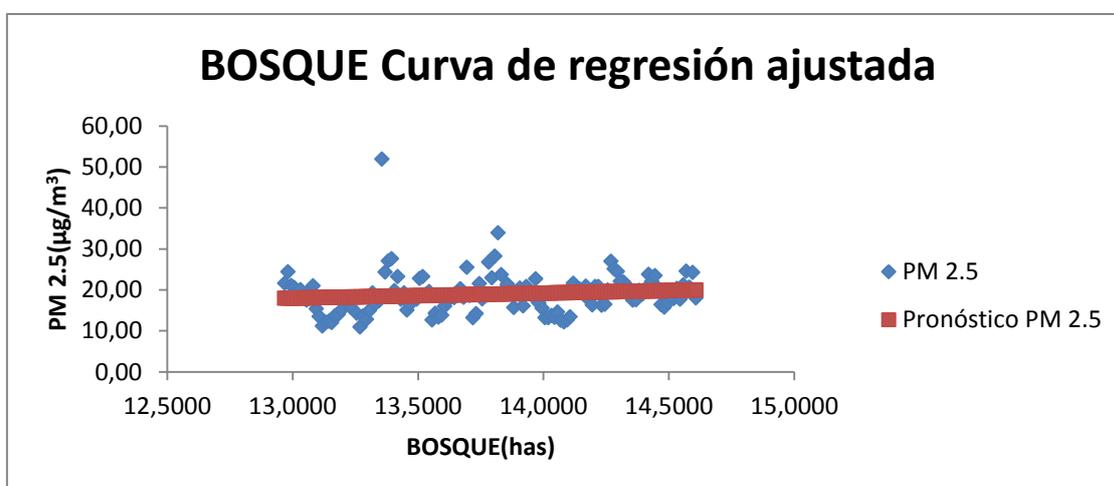


Figura 52. Correlación PM_{2.5}: Bosque Estación Carapungo

Tabla 32.
Correlación PM_{2.5}: Bosque Estación Carapungo

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,1185575
Coefficiente de determinación R ²	4
R ² ajustado	0,0140558
Error típico	9
Observaciones	0,0064717
	4,9743984
	3
	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	45,859629	45,8596297	1,8533157	0,1757531
Residuos	130	3216,8031	24,7446398		
Total	131	3262,6628			

Presenta una correlación positiva baja que no tiene significancia entre el bosque y el contaminante PM_{2.5}, presentando un valor crítico de $F > 0.001$; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Carapungo: SO₂/ARBUSTIVA

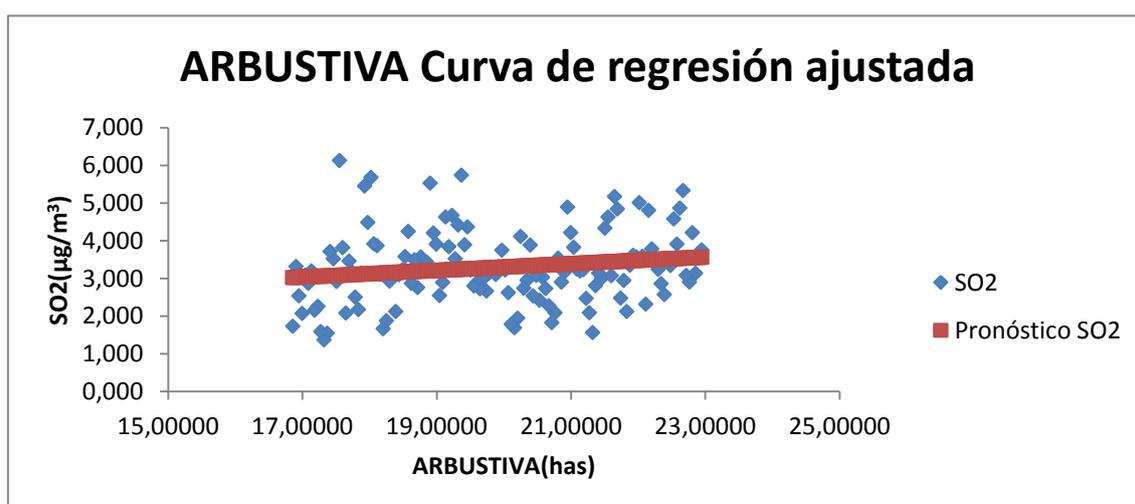


Figura 53. Correlación SO₂: Arbustiva Estación Carapungo

Tabla 33.
Correlación SO₂: Arbustiva Estación Carapungo

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,16253915
Coefficiente de determinación R ²	0,02641898
R ² ajustado	0,01892989
Error típico	0,96123695
Observaciones	132

ANÁLISIS DE
VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	3,25947866	3,25947866	3,527664136	0,062592712
Residuos	130	120,116941	0,92397647		
Total	131	123,37642			

Como se puede apreciar en la Figura 52, el R², presenta una correlación positiva baja; y al analizar el valor crítico de F, se establece que no es significativa, entre arbustiva y el contaminante dióxido de azufre; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Carapungo: SO₂/BOSQUE

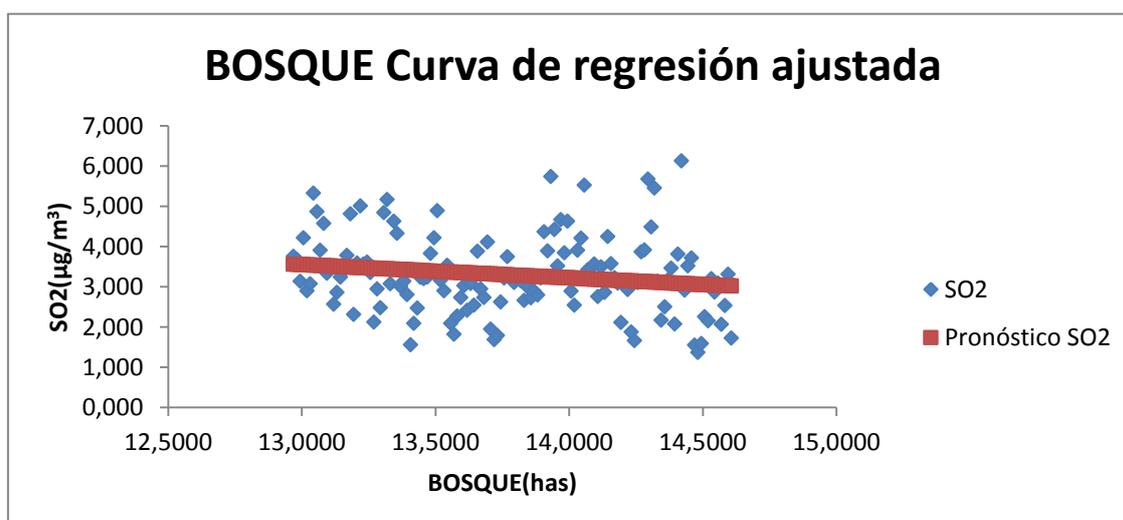


Figura 54. Correlación SO₂: Bosque Estación Carapungo

Tabla 34.
Correlación SO₂: Bosque Estación Carapungo

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,16253915
Coefficiente de determinación R ²	0,02641898
R ² ajustado	0,01892989
Error típico	0,96123695
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	3,25947866	3,25947866	3,52766414	0,06259271
Residuos	130	120,116941	0,92397647		
Total	131	123,37642			

Como se puede apreciar en la Figura 53, el R², presenta una correlación positiva baja; y al analizar el valor crítico de F, se establece que no es significativa, entre la clase de bosque y el dióxido de azufre de la estación de Carapungo; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Estación Cotocollao

La estación Cotocollao, ubicada en el extremo noroccidental de la urbe al igual que en la estación de Carapungo, se evidencia que no existe un crecimiento significativo de las áreas forestales, donde el uso de suelo es mayoritariamente de tipo residencial con importantes núcleos comerciales, igualmente se refleja en los resultados obtenidos de las correlaciones entre los factores de arbustiva y bosques con los contaminantes, presentando también que el único contaminante Dióxido de Azufre (SO₂), presenta una relación inversa, ya que mientras crecen los factores forestales, el contaminante presentó tendencias de disminución, no así con los otros contaminantes como el Ozono troposférico que no presentan cambios significativos.

El sector de Cotocollao presenta características limitantes para el crecimiento de áreas forestales, lo que significa que se han mantenido las áreas existentes en el transcurso de los años, lo cual ha sido suficiente para impedir el incremento de los contaminantes, ya que los resultados muestran que no existen correlaciones significativas; salvo el contaminante SO₂ que si disminuyó considerablemente.

Las ilustraciones de correlación de la estación Cotocollao se presentan en las siguientes figuras: (Inicio, Figura 54/ Figura 63, Final).

Cotocollao: CO/ARBUSTIVA

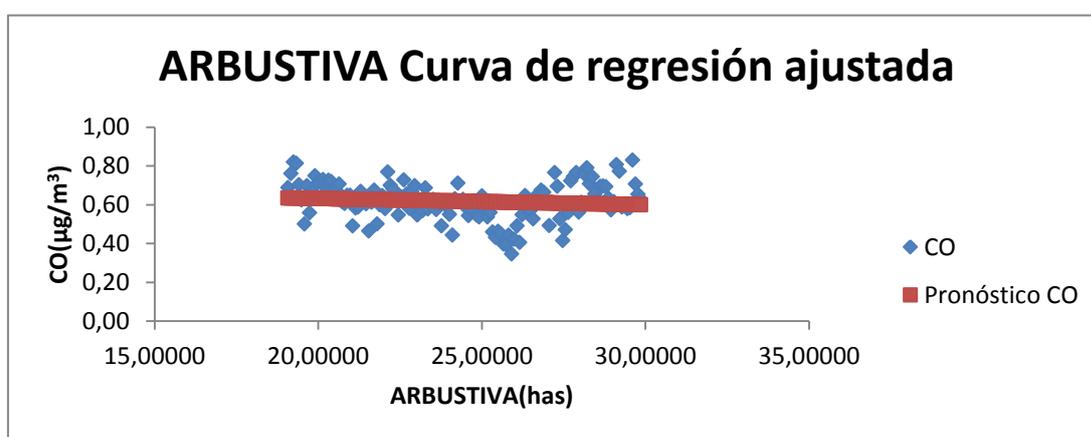


Figura 55. Correlación CO: Arbustiva Estación Cotocollao

Tabla 35.
Correlación CO: Arbustiva Estación Cotocollao

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,10240668
Coefficiente de determinación R ²	0,01048713
R ² ajustado	0,00287549
Error típico	0,09900592
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,01350519	0,01350519	1,377775635	0,242626341
Residuos	130	1,27428244	0,00980217		
Total	131	1,28778764			

Se observa una correlación positiva baja que no tiene significancia entre la clase arbustiva y el monóxido de carbono, presentando un valor crítico de $F > 0.001$; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Cotocollao: CO/BOSQUE

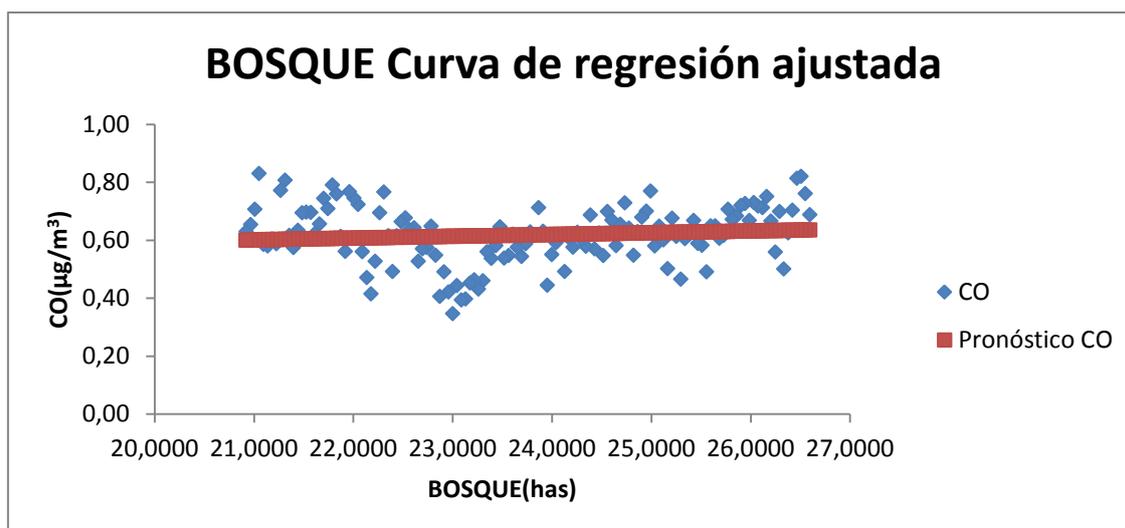


Figura 56. Correlación CO: Bosque Estación Cotocollao

Tabla 36.
Correlación CO: Bosque Estación Cotocollao

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,10240668
Coefficiente de determinación R^2	0,01048713
R^2 ajustado	0,00287549
Error típico	0,09900592
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,01350519	0,01350519	1,37777564	0,24262634
Residuos	130	1,27428244	0,00980217		
Total	131	1,28778764			

Como se puede observar en la Figura 55, el R^2 , se presenta una correlación positiva baja; y al analizar el valor crítico de F, se establece que no es significativa la correlación entre el bosque y el monóxido de carbono, según las estadísticas de regresión y el análisis de varianza; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Cotocollao: O₃/ARBUSTIVA

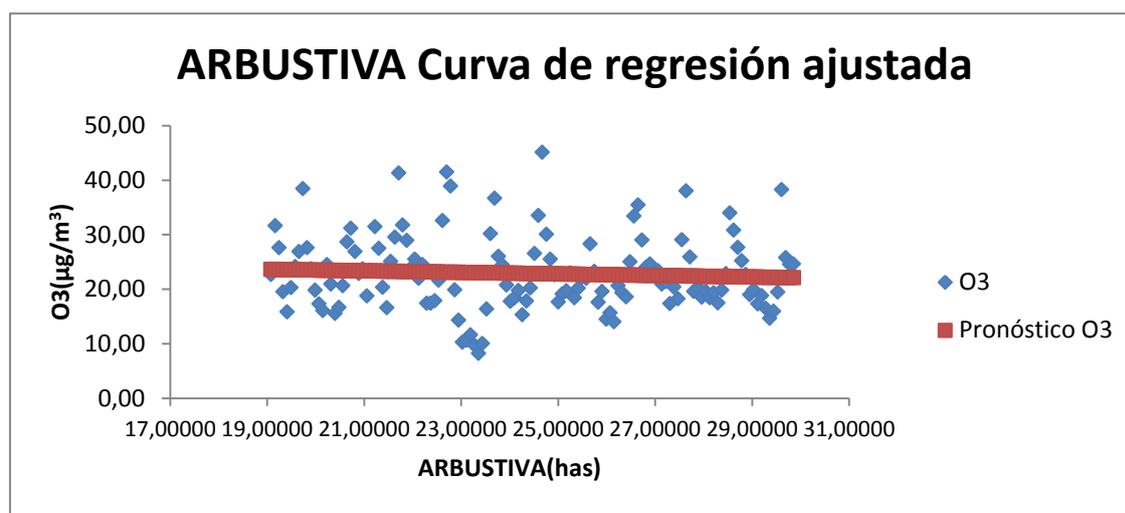


Figura 57. Correlación O₃: Arbustiva Estación Cotocollao

Tabla 37.
Correlación O₃: Arbustiva Estación Cotocollao

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,06408614
Coefficiente de determinación R ²	0,00410703
R ² ajustado	-0,00355368
Error típico	6,93505371
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	25,7844877	25,7844877	0,5361161	0,465364815
Residuos	130	6252,3461	48,09497		
Total	131	6278,13059			

Como se puede apreciar en la Figura 56, el R^2 , presenta una correlación negativa; y al analizar el valor crítico de F, se establece que no es significativa, entre arbustiva y el ozono troposférico de la estación de Cotocollao. lo que significa que no se establece una relación de influencia entre las dos variables.

Cotocollao: O₃/BOSQUE

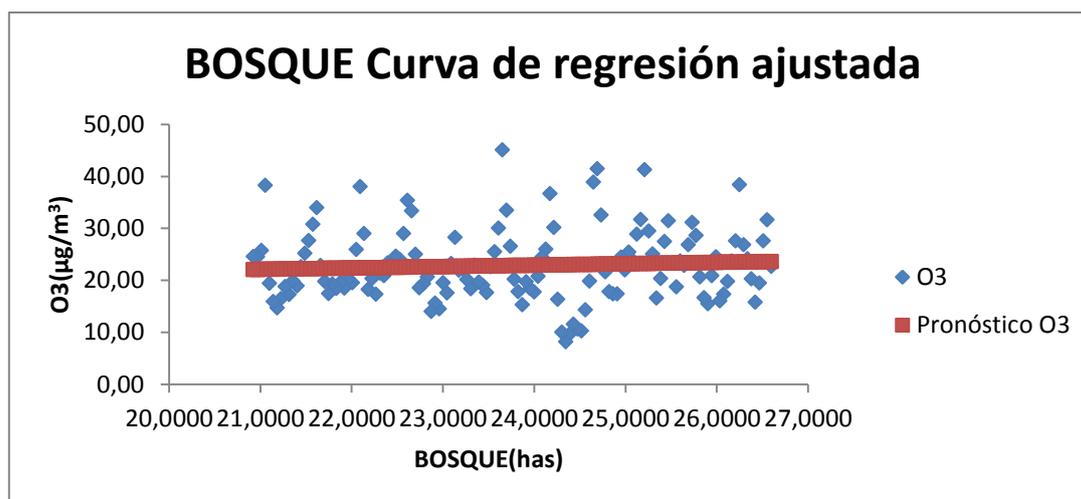


Figura 58. Correlación O₃: Bosque Estación Cotocollao

Tabla 38.

Correlación O₃: Bosque Estación Cotocollao

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,0640861
Coefficiente de determinación R ²	0,0041070
R ² ajustado	0,0035536
Error típico	6,9350537
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	25,784487	25,7844877	0,536116	0,4653648
Residuos	130	6252,3461	48,09497		
Total	131	6278,1305	9		

Según las estadísticas y el análisis de varianza se presenta una correlación positiva baja pero que no tiene significancia entre los factores bosque y el

contaminante O₃, presentando un valor crítico de $F > 0.001$; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Cotocollao: PM_{2.5}/ARBUSTIVA

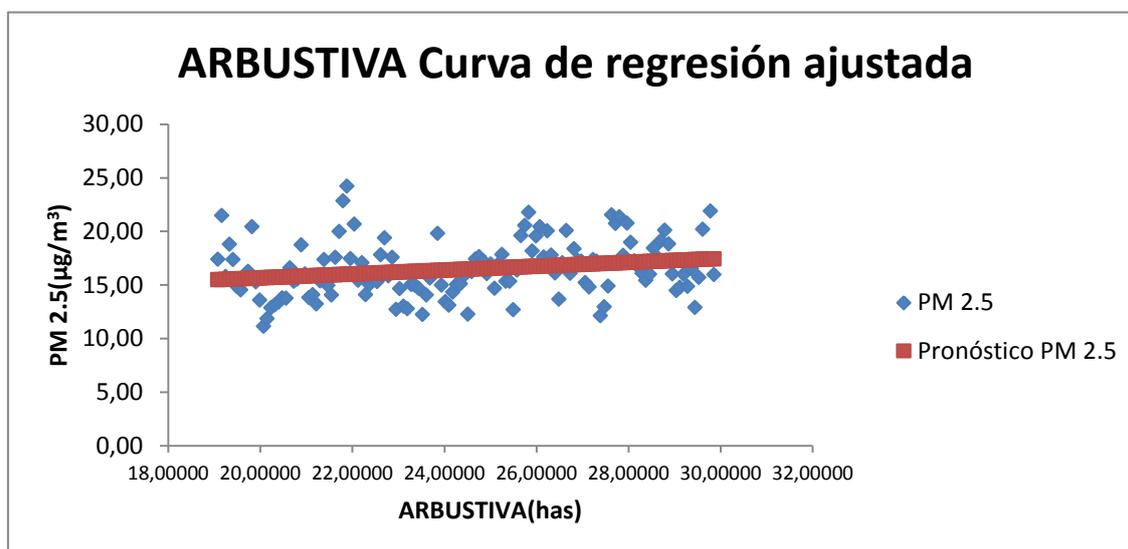


Figura 59. Correlación PM_{2.5}: Arbustiva Estación Cotocollao

Tabla 39.
Correlación PM_{2.5}: Arbustiva Estación Cotocollao

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,21904098
Coefficiente de determinación R ²	0,04797895
R ² ajustado	0,04065571
Error típico	2,53856769
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	42,2206624	42,2206624	6,551602585	0,011623437
Residuos	130	837,762371	6,44432593		
Total	131	879,983034			

Como se puede observar en la Figura 58, el R², se presenta una correlación positiva baja; y al analizar el valor crítico de F, se establece que no es

significativa la correlación entre la clase arbustiva y el material particulado, según las estadísticas de regresión y el análisis de varianza; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Cotocollao: PM_{2.5}/BOSQUE

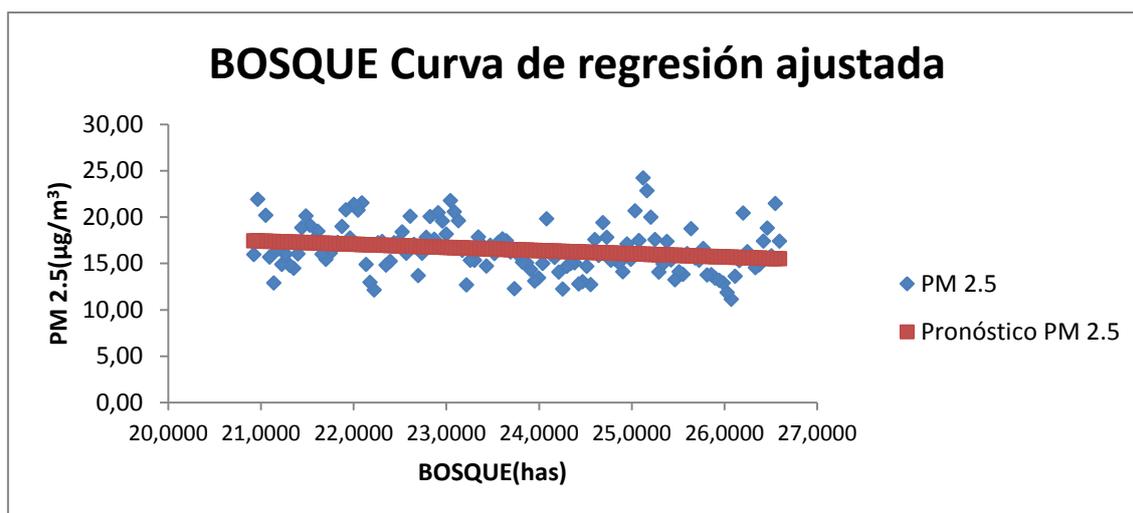


Figura 60. Correlación PM_{2.5}: Bosque Estación Cotocollao

Tabla 40.

Correlación PM_{2.5}: Bosque Estación Cotocollao

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,2190409
Coefficiente de determinación R ²	0,0479789
R ² ajustado	0,0406557
Error típico	2,5385676
Observaciones	9
	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	42,220662	42,2206624	6,5516025	0,0116234
Residuos	130	837,76237	6,44432593	8	4
Total	131	879,98303	4		

La correlación establecida entre la variable bosque y el contaminante PM_{2.5} presenta una correlación positiva baja, pero a su vez no presenta significancia,

debido a que su valor crítico presenta un $F > 0.001$; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Cotocollao: SO₂/ARBUSTIVA

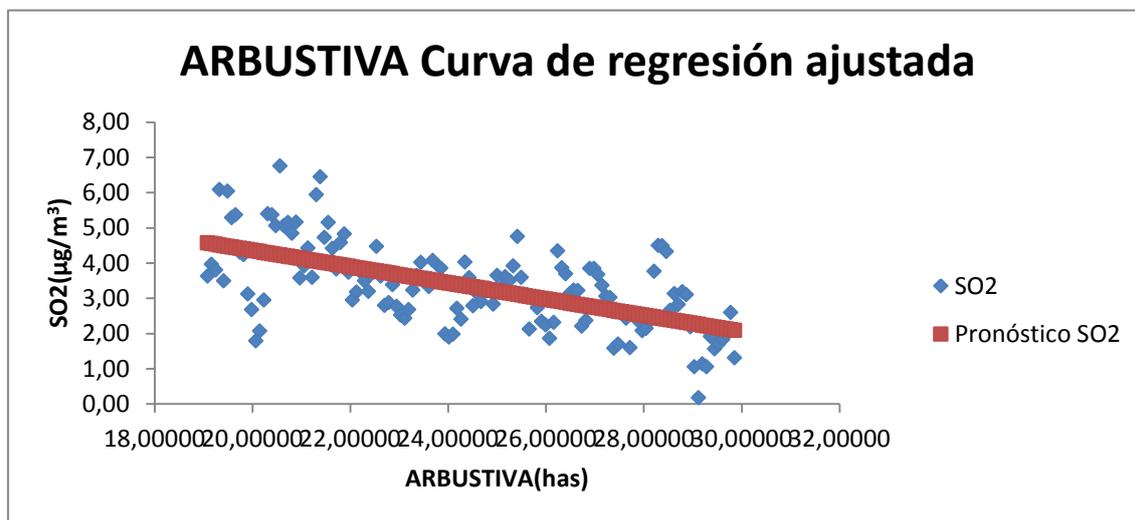


Figura 61. Correlación SO₂: Arbustiva Estación Cotocollao

Tabla 41.

Correlación SO₂: Arbustiva Estación Cotocollao

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,60882022
Coefficiente de determinación R ²	0,37066207
R ² ajustado	0,365821
Error típico	0,94866413
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	68,9068726	68,9068726	76,56628642	9,58691E-15
Residuos	130	116,995271	0,89996362		
Total	131	185,902144			

Como se puede observar en la Figura 60, el R², presenta una correlación positiva moderada; y al analizar el valor crítico de F, se establece que es significativa la correlación entre el bosque y el monóxido de carbono, según las

estadísticas de regresión y el análisis de varianza; estableciéndose una relación inversa, ya que mientras se incrementa el factor Arbustiva, el contaminante SO₂ tiende a disminuir.

Cotocollao: SO₂/BOSQUE

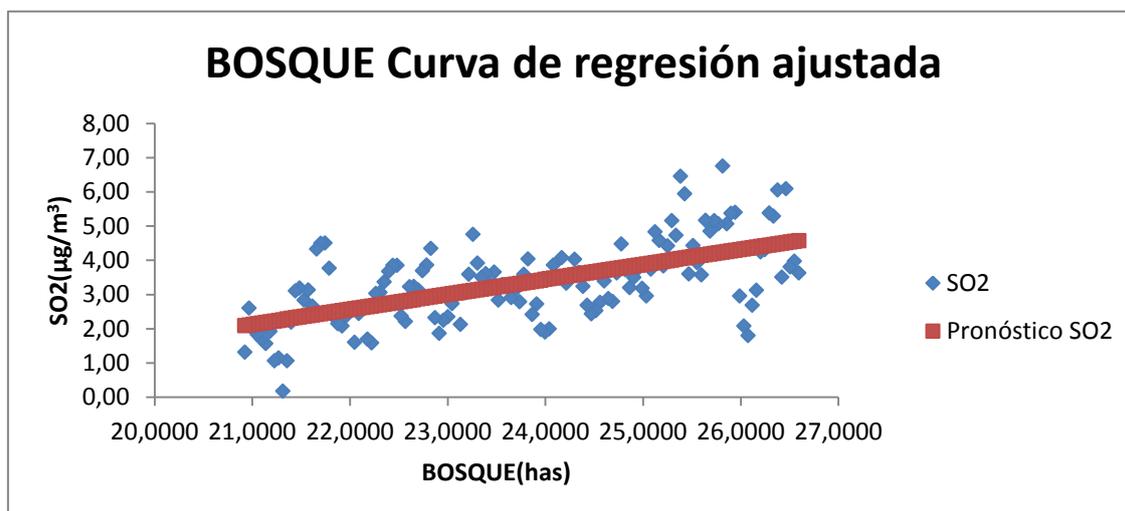


Figura 62. Correlación SO₂: Bosque Estación Cotocollao

Tabla 42.
Correlación SO₂: Bosque Estación Cotocollao

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,60882022
Coefficiente de determinación R ²	0,37066207
R ² ajustado	0,365821
Error típico	0,94866413
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	68,9068726	68,9068726	76,5662864	9,5869E-15
Residuos	130	116,995271	0,89996362		
Total	131	185,902144			

Presenta una correlación positiva moderada, que, si tiene significancia entre el bosque y el contaminante SO₂, presentando un valor crítico de F < 0.001; estableciéndose una relación inversa, ya que mientras se incrementa el factor bosque, el contaminante SO₂ tiende a disminuir.

Cotocollao: NO₂/ARBUSTIVA

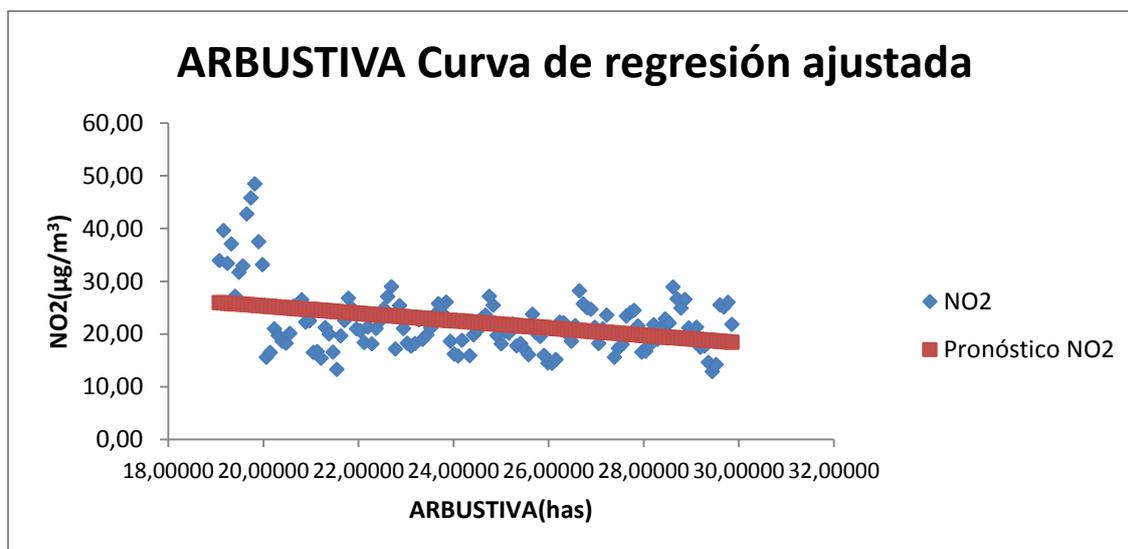


Figura 63. Correlación NO₂: Arbustiva Estación Cotocollao

Tabla 43.

Correlación NO₂: Arbustiva Estación Cotocollao

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,35743029
Coefficiente de determinación R ²	0,12775641
R ² ajustado	0,12104685
Error típico	5,74592448
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	628,64881	628,64881	19,04093498	2,58379E-05
Residuos	130	4292,03426	33,0156482		
Total	131	4920,68307			

Como se puede observar en la Figura 62, el R², presenta una correlación positiva baja; y al analizar el valor crítico de F, se establece que no es significativa la correlación entre el bosque y el monóxido de carbono, según las estadísticas de regresión y el análisis de varianza; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Cotocollao: NO₂/BOSQUE

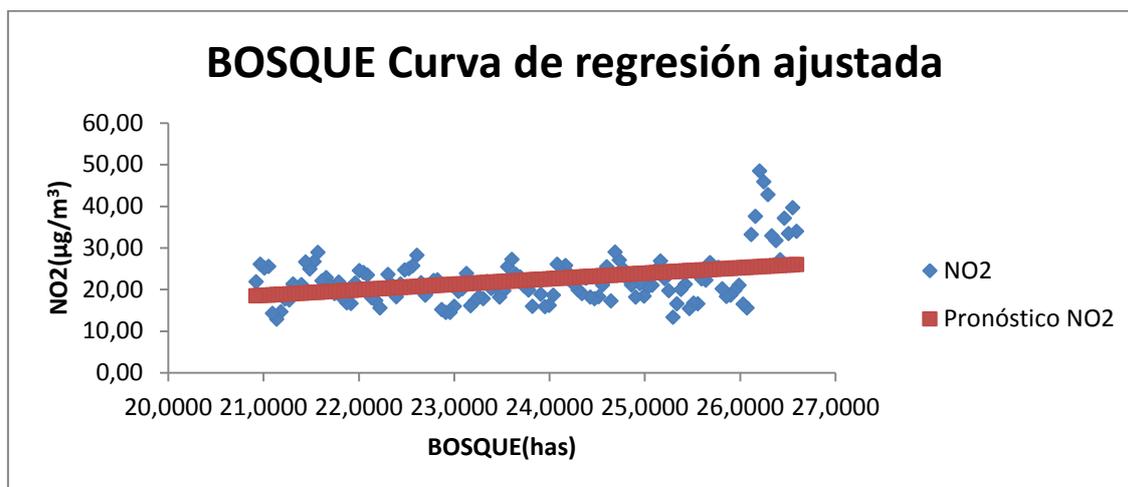


Figura 64. Correlación NO₂: Bosque Estación Cotocollao

Tabla 44.

Correlación NO₂: Bosque Estación Cotocollao

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,35743029
Coefficiente de determinación R ²	0,12775641
R ² ajustado	0,12104685
Error típico	5,74592448
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	628,64881	628,64881	19,040935	2,5838E-05
Residuos	130	4292,03426	33,0156482		
Total	131	4920,68307			

Como se puede observar en la Figura 63, el R², se presenta una correlación positiva baja; y al analizar el valor crítico de F, se establece que no es significativa la correlación entre el bosque y el monóxido de carbono, según las estadísticas de regresión y el análisis de varianza; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Estación Centro Histórico

La estación de monitoreo Centro Histórico al igual que las anteriores, por el hecho de encontrarse en una zona urbana central de la ciudad presenta las

mismas limitantes de infraestructura y espacio, por lo cual no se observa un crecimiento significativo de las áreas forestales; sin embargo, en el caso de la correlación entre el factor arbustiva y bosque con el contaminante SO_2 , se evidencia una correlación moderada y significativa, estableciendo una relación inversa en el tiempo de atrás hacia adelante, ya que mientras crecieron los factores forestales, el contaminante disminuyó, a diferencia de los demás contaminantes que no presentan cambios importantes, pero es necesario mencionar que no se incrementaron en el transcurso del tiempo.

Las ilustraciones de correlación de la estación Centro Histórico se presentan en las siguientes figuras: (Inicio, Figura 64/ Figura 71, Final).

Centro Histórico: CO/ARBUSTIVA

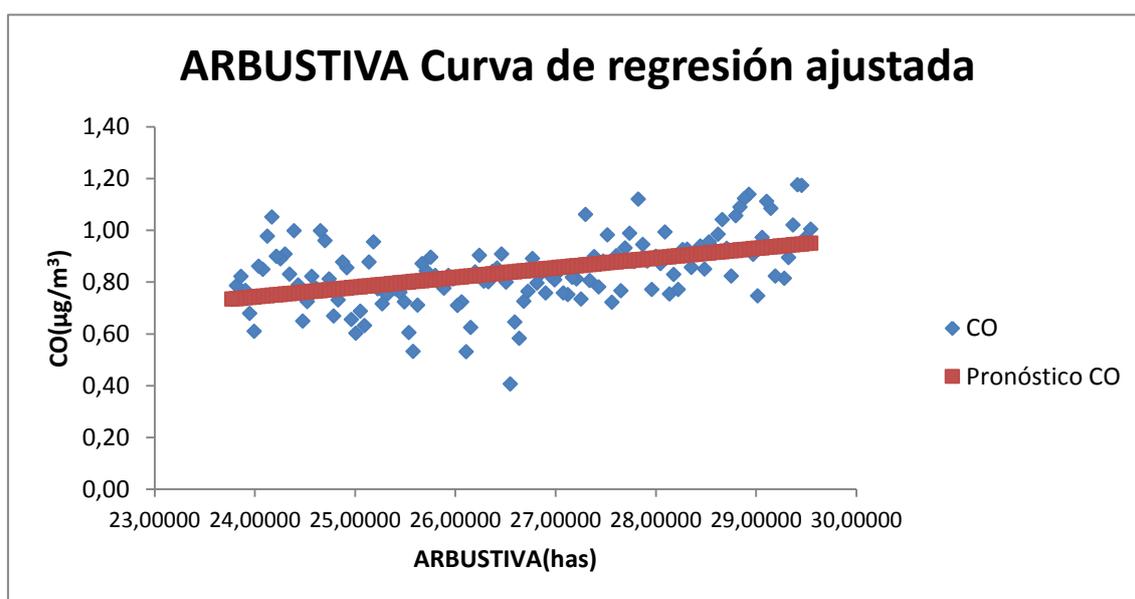


Figura 65. Correlación CO: Arbustiva Estación Centro Histórico

Tabla 45.

Correlación CO: Arbustiva Estación Centro Histórico

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,46413361
Coefficiente de determinación R ²	0,21542001
R ² ajustado	0,20938478
Error típico	0,12108887
Observaciones	132

ANÁLISIS DE
VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,52336014	0,52336014	35,69374914	2,07801E-08
Residuos	130	1,906127	0,01466252		
Total	131	2,42948714			

Como se puede observar en la Figura 64, el R², presenta una correlación positiva baja; y al analizar el valor crítico de F, se establece que no es significativa la correlación entre el bosque y el monóxido de carbono, según las estadísticas de regresión y el análisis de varianza. lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

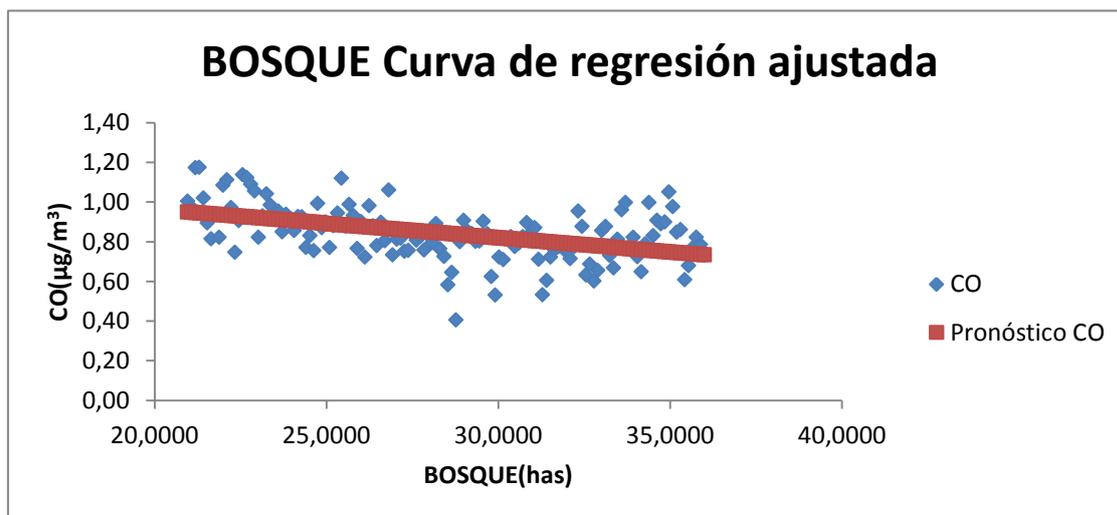
Centro Histórico: CO/BOSQUE

Figura 66. Correlación CO: Bosque Estación Centro Histórico

Tabla 46.

Correlación CO: Bosque Estación Centro Histórico

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,4641336
Coefficiente de determinación R ²	1
R ² ajustado	0,2154200
Error típico	1
Observaciones	0,2093847
	8
	0,1210888
	7
	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,5233601	0,52336014	35,693749	2,078E-08
Residuos	130	1,906127	0,01466252	1	
Total	131	2,4294871	4		

Como se puede observar en la Figura 65, el R², presenta una correlación positiva baja; y al analizar el valor crítico de F, se establece que no es significativa la correlación entre el bosque y el monóxido de carbono, según las estadísticas de regresión y el análisis de varianza. lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

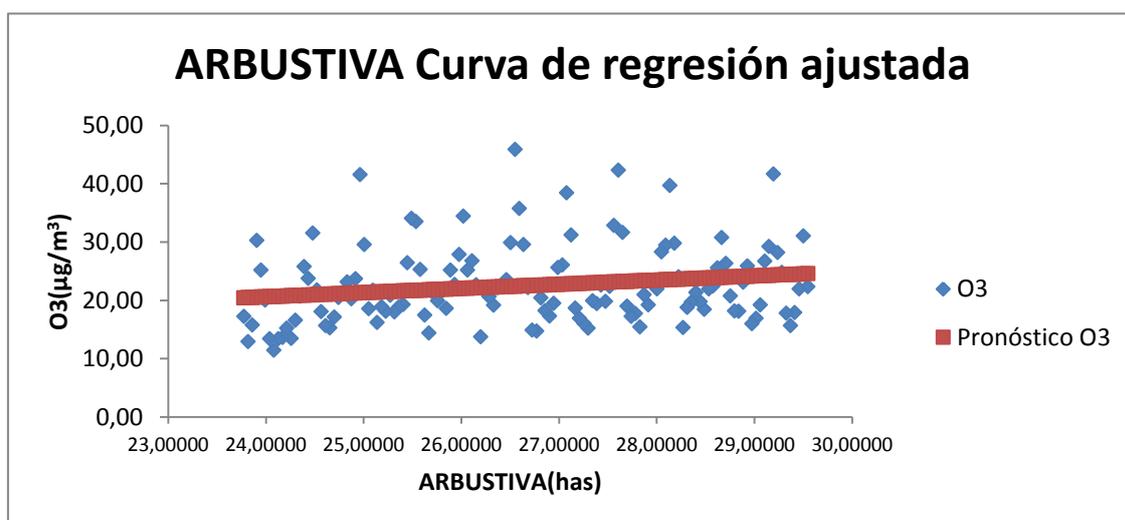
Centro Histórico: O₃/ARBUSTIVAFigura 67. Correlación O₃: Arbustiva Estación Centro Histórico

Tabla 47.

Correlación O₃: Arbustiva Estación Centro Histórico

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,17940036
Coefficiente de determinación R ²	0,03218449
R ² ajustado	0,02473975
Error típico	6,62300276
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	189,630086	189,630086	4,323120787	0,039563352
Residuos	130	5702,34153	43,8641656		
Total	131	5891,97161			

Se presenta una correlación positiva baja, y además carece de significancia entre la clase arbustiva y el contaminante O₃, presentando un valor crítico de F > 0.001; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

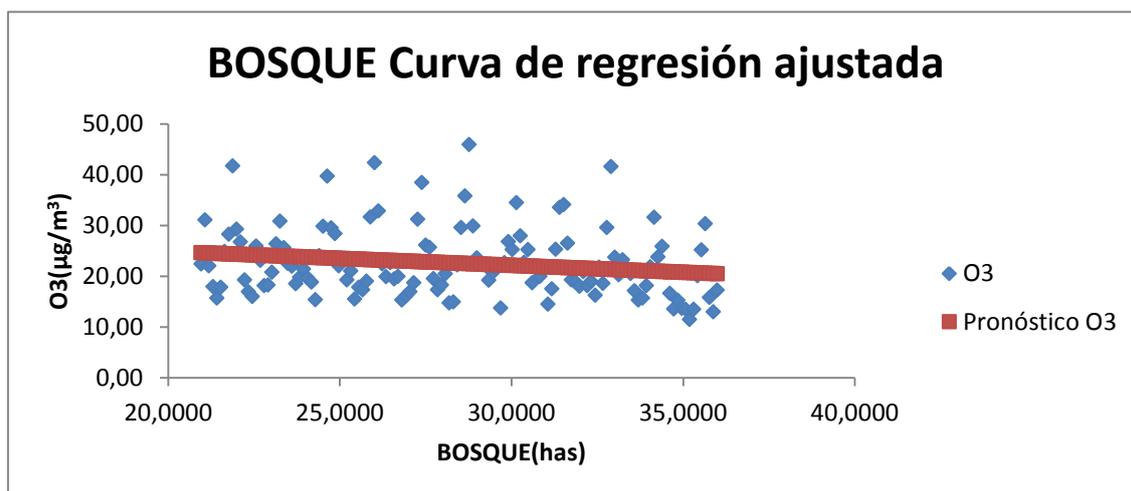
Centro Histórico: O₃/BOSQUEFigura 68. Correlación O₃: Bosque Estación Centro Histórico

Tabla 48.
Correlación O₃: Bosque Estación Centro Histórico

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,1794003
Coefficiente de determinación R ²	0,0321844
R ² ajustado	0,0247397
Error típico	6
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	189,63008	189,630086	4,3231207	0,0395633
Residuos	130	5702,3415	43,8641656	9	5
Total	131	5891,9716	1		

Presenta una correlación positiva baja, además carece de significancia entre el bosque y el contaminante O₃, presentando un valor crítico de $F > 0.001$; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Centro Histórico: PM_{2.5}/ARBUSTIVA

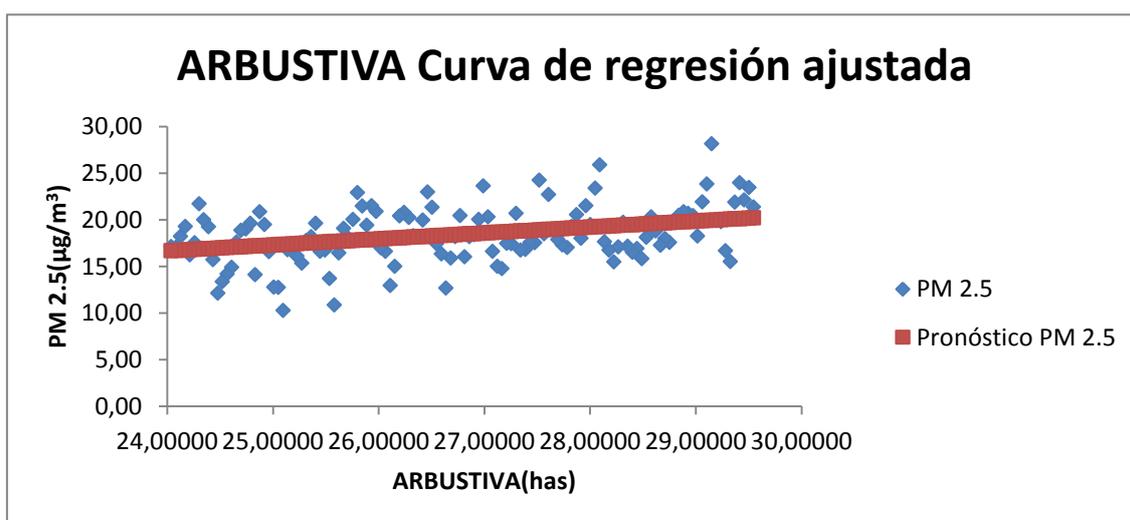


Figura 69. Correlación PM_{2.5}: Arbustiva Estación Centro Histórico

Tabla 49.

Correlación $PM_{2.5}$: Arbustiva Estación Centro Histórico

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,36354568
Coeficiente de determinación R^2	0,13216546
R^2 ajustado	0,12548981
Error típico	2,77731847
Observaciones	132

ANÁLISIS DE
VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	152,712916	152,712916	19,79814064	1,83035E-05
Residuos	130	1002,75473	7,7134979		
Total	131	1155,46764			

Presenta una correlación positiva baja, además carece de significancia entre la clase arbustiva y el contaminante $PM_{2.5}$, presentando un valor crítico de $F < 0.001$; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

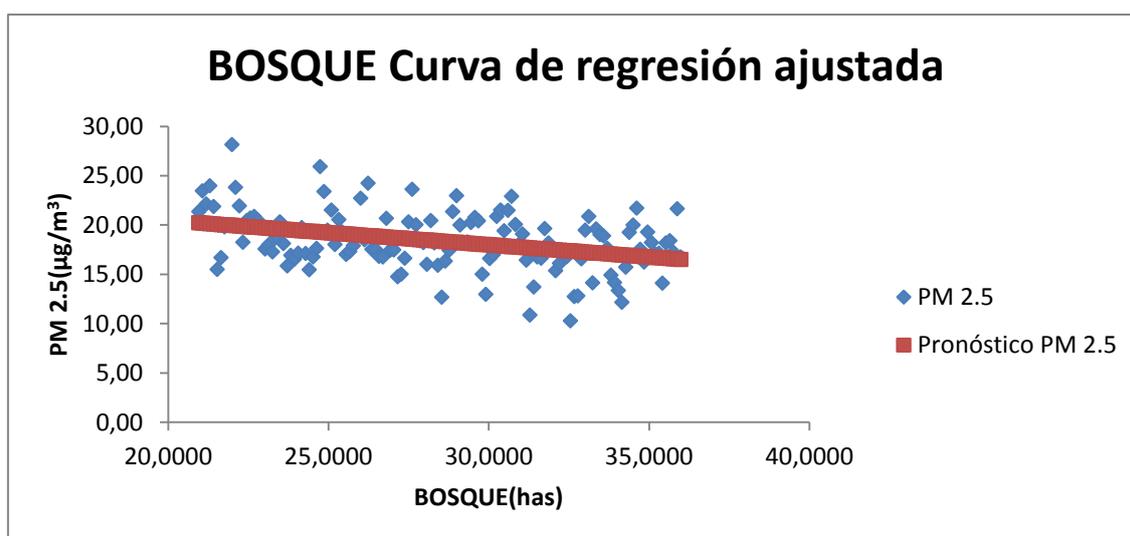
Centro Histórico: $PM_{2.5}$ /BOSQUEFigura 70. Correlación $PM_{2.5}$: Bosque Estación Centro Histórico

Tabla 50.
Correlación $PM_{2,5}$: Bosque Estación Centro Histórico

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,36354568
Coefficiente de determinación R^2	0,13216546
R^2 ajustado	0,12548981
Error típico	2,77731847
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	152,712916	152,712916	19,7981406	1,8303E-05
Residuos	130	1002,75473	7,7134979		
Total	131	1155,46764			

Presenta una correlación positiva baja que además no tiene significancia entre el bosque y el contaminante $PM_{2,5}$, presentando un valor crítico de $F < 0.001$; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Centro Histórico: SO_2 /ARBUSTIVA

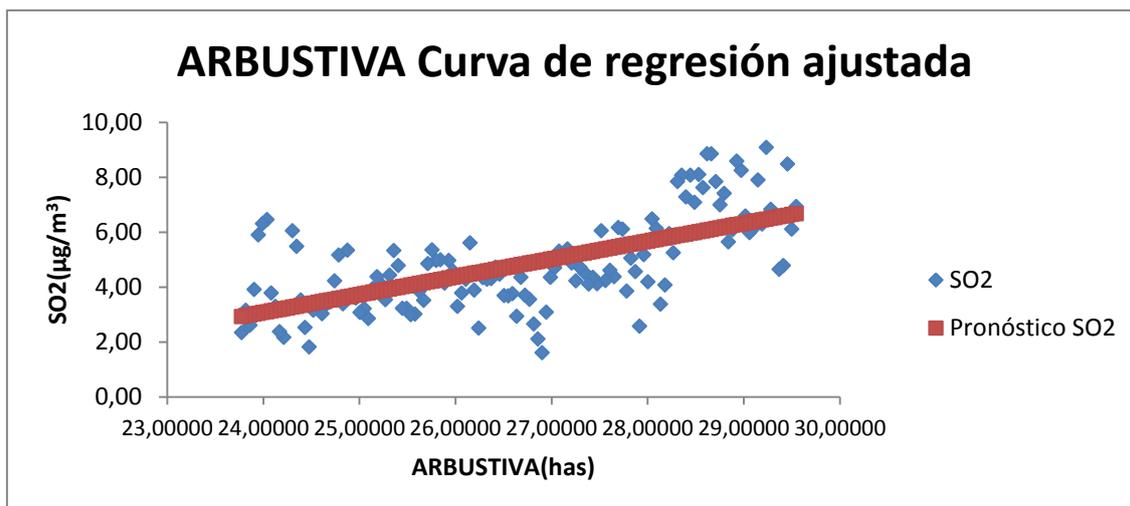


Figura 71. Correlación SO_2 : Arbustiva Estación Centro Histórico

Tabla 51.
Correlación SO₂: Arbustiva Estación Centro Histórico

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,64302872
Coefficiente de determinación R ²	0,41348594
R ² ajustado	0,40897429
Error típico	1,30617895
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	156,361931	156,361931	91,64856361	9,32076E-17
Residuos	130	221,793449	1,70610345		
Total	131	378,155379			

Se presenta una correlación positiva moderada, que además tiene significancia entre arbustiva y el contaminante SO₂, presentando un valor crítico de $F < 0.001$; estableciéndose una relación directamente proporcional, ya que mientras se incrementa el factor arbustiva, el contaminante SO₂ tuvo también tendencias de incremento, cabe recalcar que el incremento de arbustiva en el Centro Histórico no compensa las emisiones de SO₂, por lo cual no se refleja una relación inversa esperada.

Centro Histórico: SO₂/BOSQUE

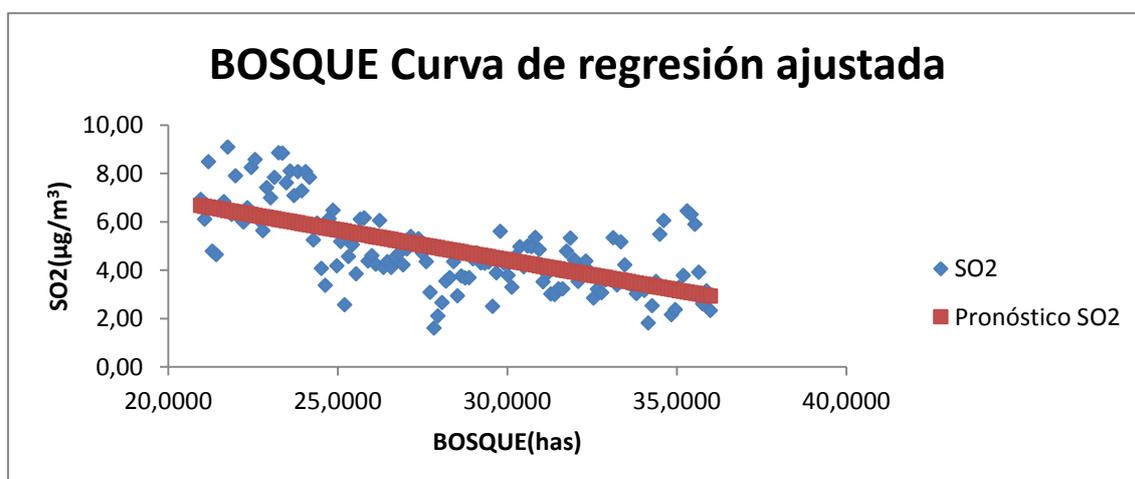


Figura 72. Correlación SO₂: Bosque Estación Centro Histórico

Tabla 52.

Correlación SO₂: Bosque Estación Centro Histórico

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,64302872
Coefficiente de determinación R ²	0,41348594
R ² ajustado	0,40897429
Error típico	1,30617895
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	156,361931	156,361931	91,6485636	9,3208E-17
Residuos	130	221,793449	1,70610345		
Total	131	378,155379			

Se presenta una correlación positiva moderada, que, si tiene significancia entre el bosque de la estación Centro Histórico y el contaminante SO₂, presentando un valor crítico de $F < 0.001$. estableciéndose una relación inversa, ya que mientras se incrementa el factor bosque, el contaminante SO₂ tiende a disminuir.

Estación Guamaní

La estación Guamaní, es una de las últimas estaciones estudiadas dentro del área de estudio, ubicada al Sur de Quito, en la zona de Quitumbe. Presenta las mismas características que las demás estaciones que se encuentran dentro de zonas urbanas, ya que las limitantes son las mismas por cuestiones de infraestructura; Guamaní al igual que Carapungo, debido que son zonas que se encuentran en términos de expansión por su crecimiento demográfico, no se observa un crecimiento significativo de las áreas forestales; sin embargo, en el caso de la correlación entre el factor arbustiva y bosque con los contaminantes SO₂ y O₃ se puede evidenciar una correlación moderada y significativa, estableciendo una relación inversa, ya que mientras crecieron los factores forestales, los contaminantes tienden a disminuir, a diferencia de los demás contaminantes estudiados que no presentan cambios importantes, pero es importante mencionar que no se incrementaron en el transcurso del tiempo.

Las ilustraciones de correlación de la estación Carapungo se presentan en las siguientes figuras: (Inicio, Figura 72/ Figura 75, Final).

Guamaní: CO/ARBUSTIVA

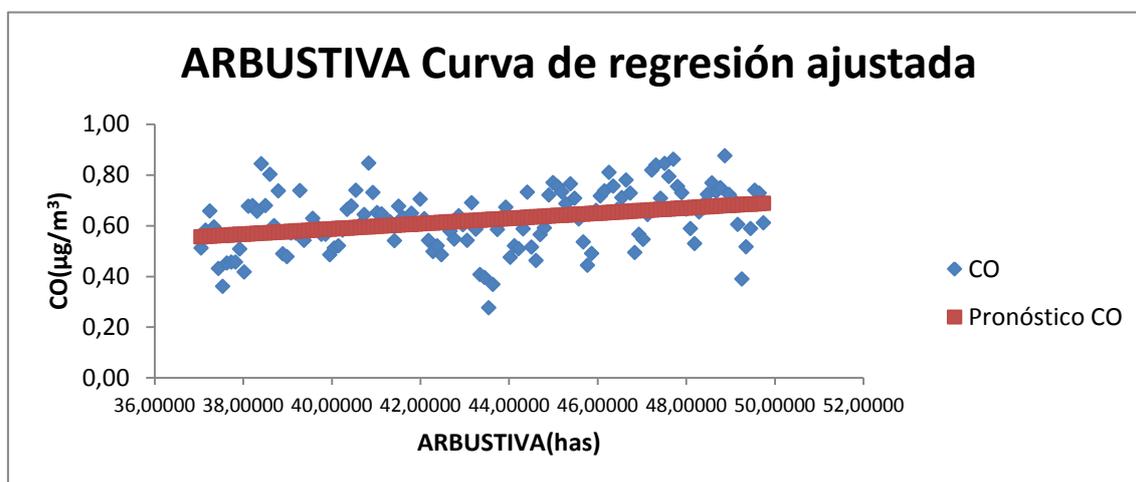


Figura 73. Correlación CO: Arbustiva Estación Guamaní

Tabla 53.

Correlación CO: Arbustiva Estación Guamaní

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,32341471
Coefficiente de determinación R ²	0,10459708
R ² ajustado	0,09770936
Error típico	0,11268961
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,19284667	0,19284667	15,18603498	0,000155207
Residuos	130	1,65086325	0,01269895		
Total	131	1,84370992			

Se presenta una correlación positiva baja, que además no tiene significancia entre arbustiva y el contaminante CO, presentando un valor crítico de $F > 0.001$. lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

Guamaní: CO/BOSQUE

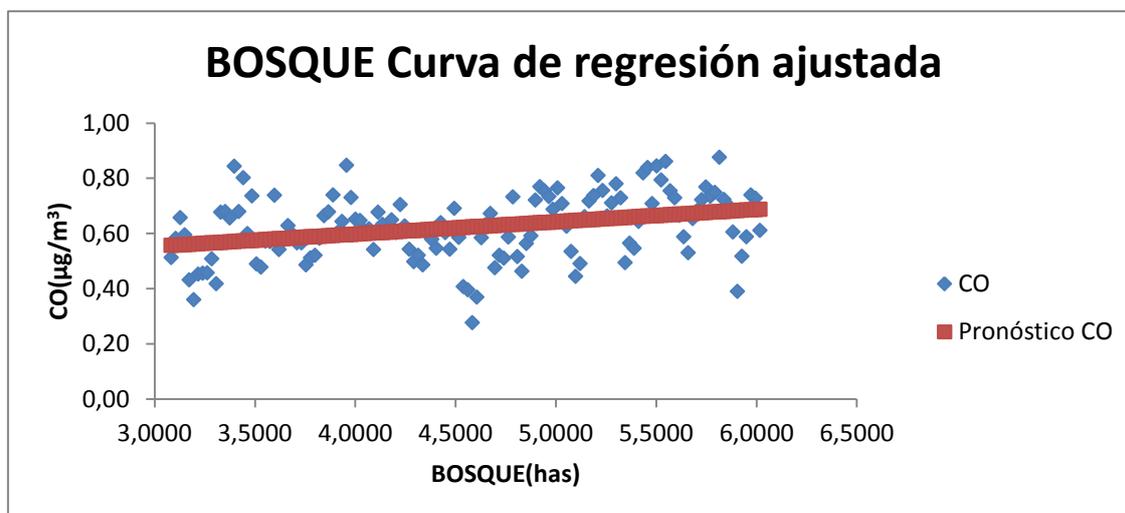


Figura 74. Correlación CO: Bosque Estación Guamaní

Tabla 54.

Correlación CO: Bosque Estación Guamaní

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,3234147
Coefficiente de determinación R ²	0,1045970
R ² ajustado	0,0977093
Error típico	0,1126896
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,1928466	0,19284667	15,18603	0,0001552
Residuos	130	1,6508632	0,01269895	5	1
Total	131	1,8437099	2		

Se presenta una correlación positiva baja que no tiene significancia entre el bosque de la estación de Guamaní y el contaminante CO, presentando un valor crítico de $F > 0.001$; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

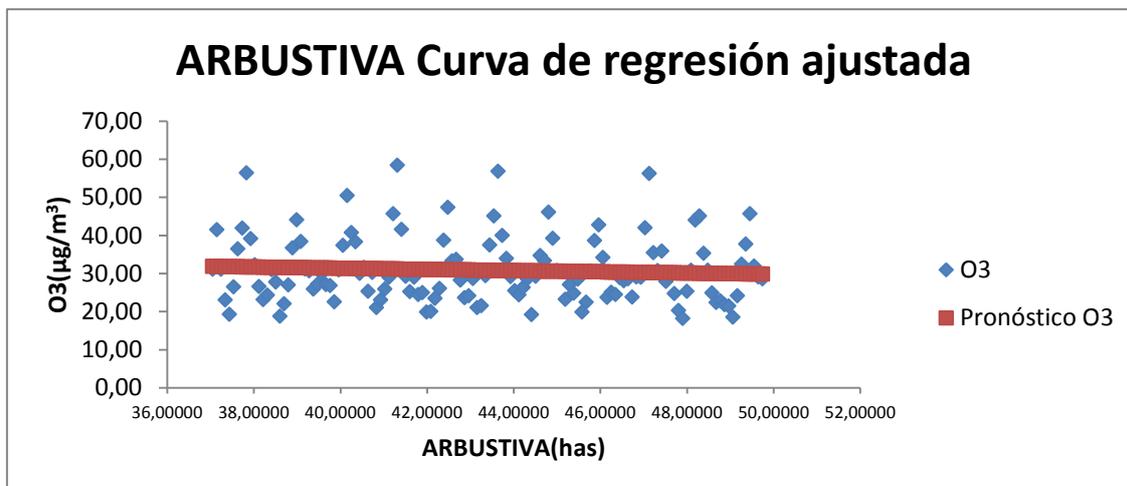
Guamaní: O₃/ARBUSTIVAFigura 75. Correlación O₃: Arbustiva Estación Guamaní

Tabla 55.

Correlación O₃: Arbustiva Estación GuamaníEstadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0,06852215
Coefficiente de determinación R ²	0,00469528
R ² ajustado	-0,00296091
Error típico	8,57680067
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	45,1128062	45,1128062	0,613266453	0,434984888
Residuos	130	9562,99627	73,5615098		
Total	131	9608,10908			

Se presenta una correlación negativa que no tiene significancia entre arbustiva y el contaminante O₃, presentando un valor crítico de $F > 0.001$, en la estación de Guamaní como se puede ver en la Figura 74; lo que significa que no se establece una relación de influencia entre las dos variables.

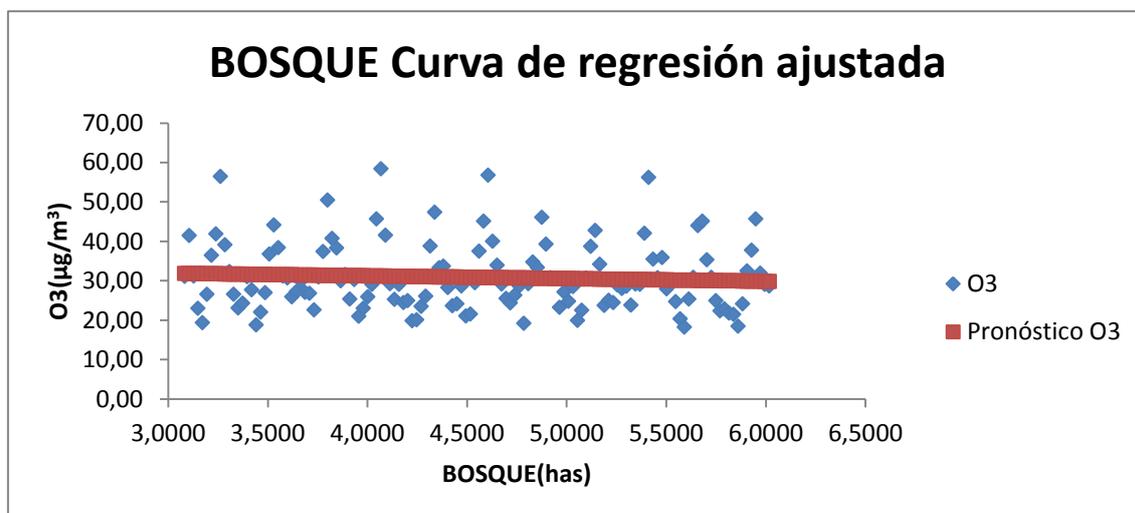
Guamaní: O₃/BOSQUEFigura 76. Correlación O₃: Bosque Estación Guamaní

Tabla 56.

Correlación O₃: Bosque Estación Guamaní

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,0685221
Coefficiente de determinación R ²	0,0046952
R ² ajustado	0,0029609
Error típico	8,5768006
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	45,112806	45,1128062	0,6132664	0,4349848
Residuos	130	9562,9962	73,5615098	5	9
Total	131	9608,1090	8		

Se presenta una correlación negativa que no tiene significancia entre el bosque y el contaminante O₃, presentando un valor crítico de $F > 0.001$, en la estación de Guamaní como se puede ver en la Figura 75; lo que significa que no se establece una relación de influencia entre las dos variables.

Estación El Camal

La estación El Camal, ubicada en la zona Sur de Quito; presenta como todas las estaciones las mismas limitantes para el crecimiento forestal por cuestiones de infraestructura; por lo tanto no se observa un crecimiento significativo de las áreas forestales; siendo un sector dedicado al comercio donde su eje principal socio-económico es el comercio de pequeña y mediana escala, sin embargo; en el caso de la correlación entre el factor arbustiva y bosque con el contaminante SO_2 , se evidencia una correlación moderada y significativa, estableciendo una relación inversa, ya que mientras crecieron los factores forestales, el contaminante disminuyó, a diferencia de los demás contaminantes que no presentan cambios importantes, pero es importante mencionar que el Material Particulado así no presente mayores inconvenientes, es necesario realizar controles, debido a como este afecta la salud de los pobladores de la zona.

Las ilustraciones de correlación de la estación Carapungo se presentan en las siguientes figuras: (Inicio, Figura 76/ Figura 83, Final).

El Camal: CO/ARBUSTIVA

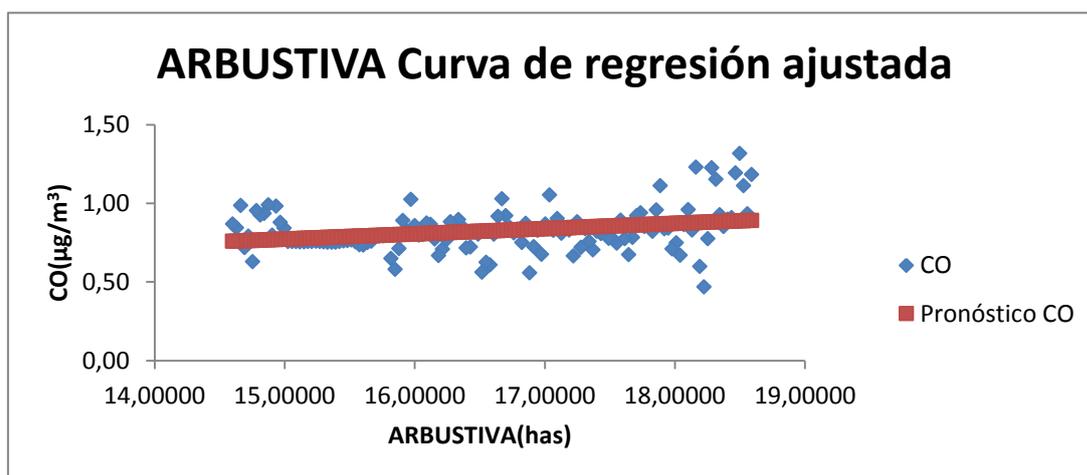


Figura 77. Correlación CO: Arbustiva Estación El Camal

Tabla 57.
Correlación CO: Arbustiva Estación El Camal

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,28461271
Coefficiente de determinación R ²	0,08100439
R ² ajustado	0,0739352
Error típico	0,13118156
Observaciones	132

**ANÁLISIS DE
VARIANZA**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0,19718962	0,19718962	11,45878288	0,00941227
Residuos	130	2,23711806	0,0172086		
Total	131	2,43430768			

La estación El Camal, presenta una correlación positiva baja que no tiene significancia entre la clase arbustiva y el contaminante CO, presentando un valor crítico de $F > 0.001$; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

El Camal: CO/BOSQUE

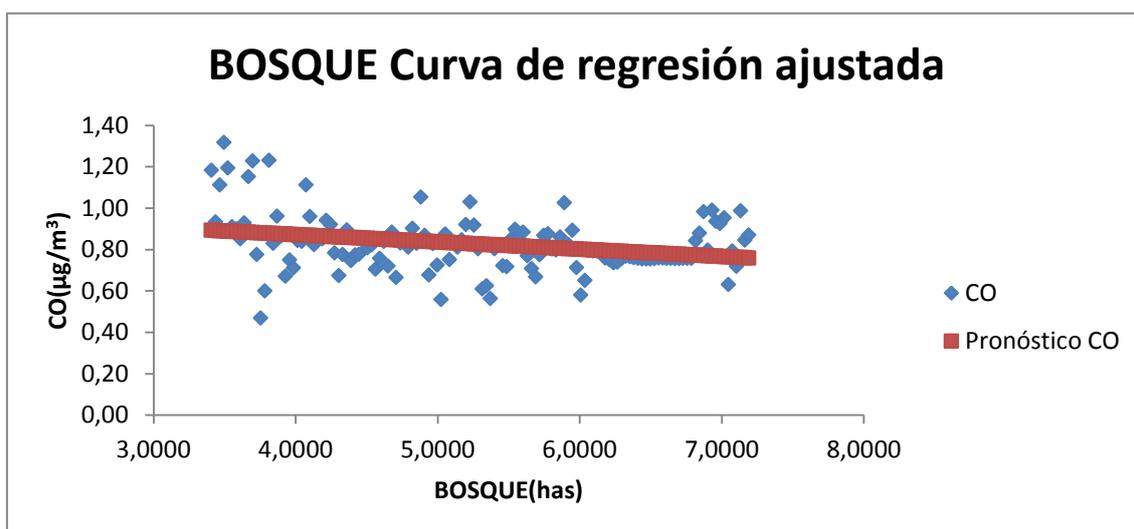


Figura 78. Correlación CO: Bosque Estación El Camal

Tabla 58.
Correlación CO: Bosque Estación El Camal

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,28461271
Coefficiente de determinación R ²	0,08100439
R ² ajustado	0,0739352
Error típico	0,13118156
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0,19718962	0,19718962	11,4587829	0,0094123
Residuos	130	2,23711806	0,0172086		
Total	131	2,43430768			

Presenta una correlación positiva baja que no tiene significancia entre el bosque y el contaminante CO, presentando un valor crítico de $F > 0.001$, lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

El Camal: O₃/ARBUSTIVA

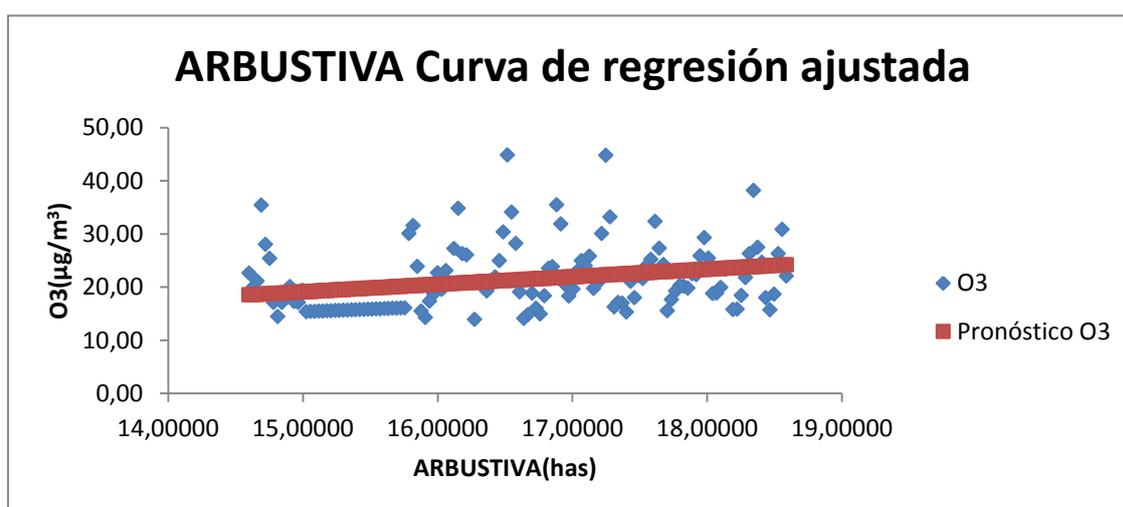


Figura 79. Correlación O₃: Arbustiva Estación El Camal

Tabla 59.
Correlación O₃: Arbustiva Estación El Camal

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,26475686
Coefficiente de determinación R ²	0,0700962
R ² ajustado	0,06294309
Error típico	6,02802053
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	356,081343	356,081343	9,799406508	0,002156181
Residuos	130	4723,8141	36,3370315		
Total	131	5079,89544			

Entre la clase arbustiva y el contaminante O₃, presenta una correlación positiva baja que no tiene significancia, presentando un valor crítico donde $F > 0.001$; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

El Camal: O₃/BOSQUE

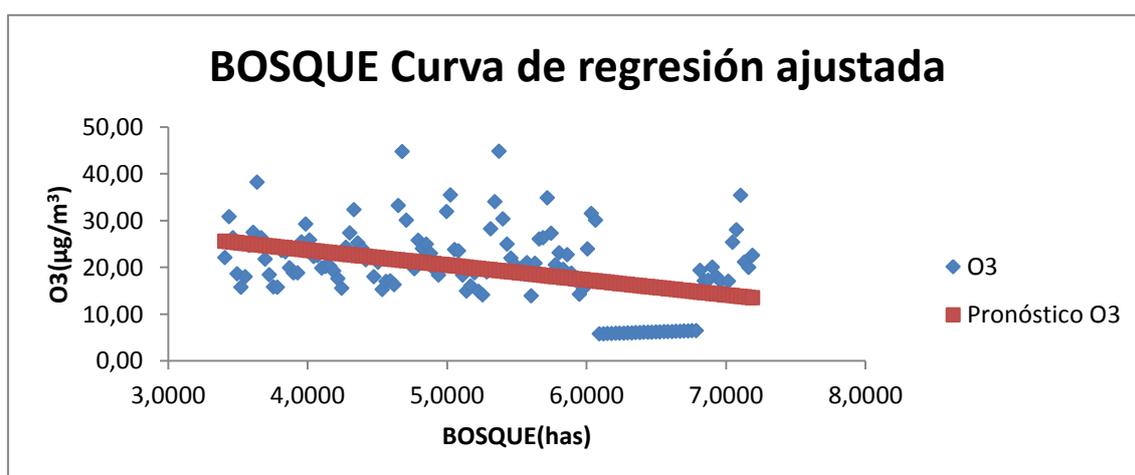


Figura 80. Correlación O₃: Bosque Estación El Camal

Tabla 60.
Correlación O₃: Bosque Estación El Camal

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,41085883
Coefficiente de determinación R ²	0,16880498
R ² ajustado	0,16241117
Error típico	7,85447251
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1628,76981	1628,76981	26,4013214	9,9129E-07
Residuos	130	8020,05599	61,6927384		
Total	131	9648,8258			

Se presenta una correlación positiva baja que, si tiene significancia entre el bosque y el contaminante O₃, presentando un valor crítico de $F < 0.001$; estableciéndose una relación inversa, ya que mientras se incrementa el factor bosque, el contaminante O₃ disminuye.

El Camal: PM_{2.5}/ARBUSTIVA

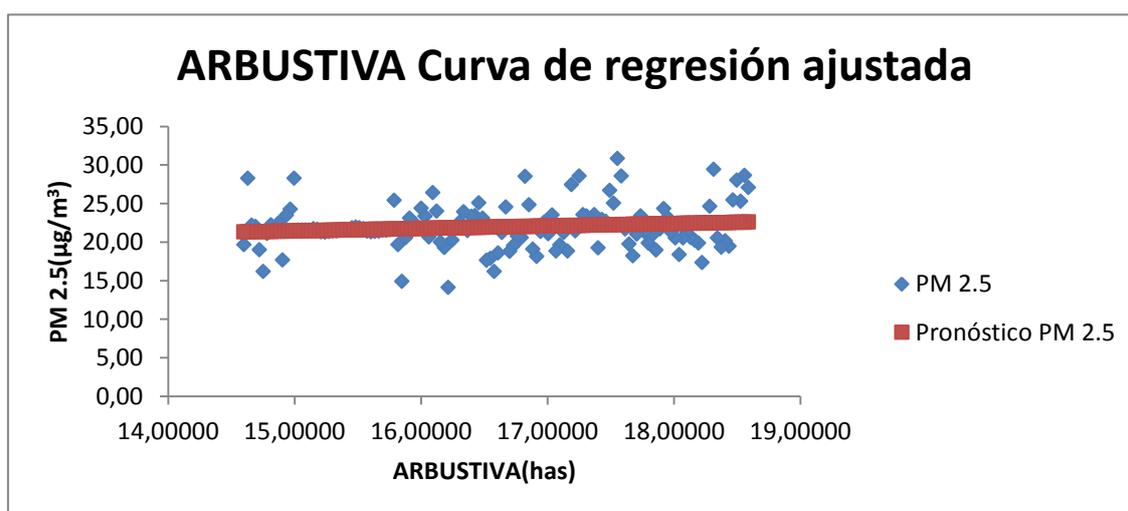


Figura 81. Correlación PM_{2.5}: Arbustiva Estación El Camal

Tabla 61.
Correlación $PM_{2.5}$: Arbustiva Estación El Camal

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,12721262
Coefficiente de determinación R^2	0,01618305
R^2 ajustado	0,00861523
Error típico	2,90974967
Observaciones	132

ANÁLISIS DE
VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	18,1050898	18,1050898	2,138402387	0,146064726
Residuos	130	1100,6636	8,46664311		
Total	131	1118,76869			

Presenta una correlación positiva baja que no tiene significancia entre la clase arbustiva y el contaminante $PM_{2.5}$, presentando un valor crítico de $F > 0.001$; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

El Camal: $PM_{2.5}$ /BOSQUE

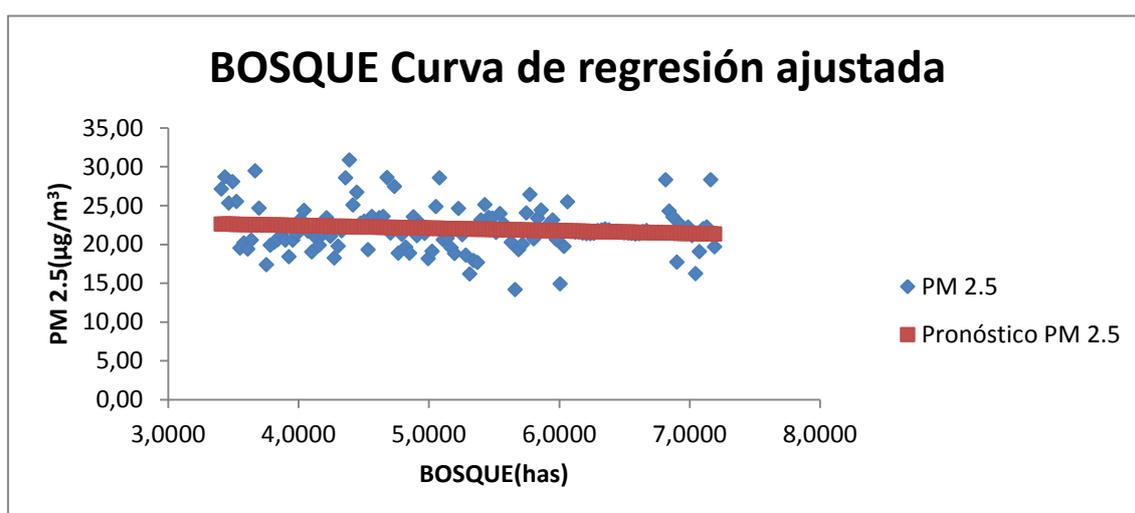


Figura 82. Correlación $PM_{2.5}$: Bosque Estación El Camal

Tabla 62.
Correlación PM_{2.5}: Bosque Estación El Camal

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,12721262
Coefficiente de determinación R ²	0,01618305
R ² ajustado	0,00861523
Error típico	2,90974967
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	18,1050898	18,1050898	2,13840239	0,14606473
Residuos	130	1100,6636	8,46664311		
Total	131	1118,76869			

De la estación El Camal, se observa una correlación positiva baja que no tiene significancia entre el bosque y el contaminante PM_{2.5}, presentando un valor crítico de $F > 0.001$; lo que significa que no se establece una relación de influencia significativa entre las dos variables.

El Camal: SO₂/ARBUSTIVA

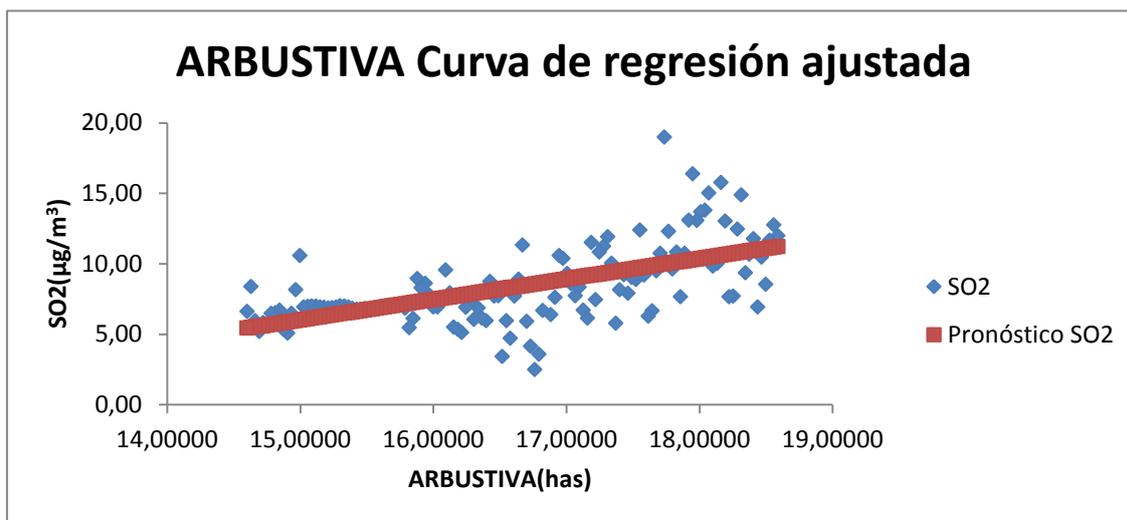


Figura 83. Correlación SO₂: Arbustiva Estación El Camal

Tabla 63.
Correlación SO₂: Arbustiva Estación El Camal

<i>Estadísticas de la regresión</i>					
Coeficiente de correlación múltiple		0,61237856			
Coeficiente de determinación R ²		0,3750075			
R ² ajustado		0,37019987			
Error típico		2,19182498			
Observaciones		132			
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	374,731543	374,731543	78,00249694	6,07649E-15
Residuos	130	624,532579	4,80409676		
Total	131	999,264122			

De la estación El Camal, presenta una correlación positiva moderada, que si tiene significancia entre la clase arbustiva y el contaminante SO₂, presentando un valor crítico de $F < 0.001$; estableciéndose una relación directamente proporcional, ya que mientras el factor arbustiva crece, también creció el contaminante SO₂; y al igual que en el caso del Centro Histórico, se puede concluir que el crecimiento del factor arbustiva en el sector El Camal es limitado en comparación a las cantidades de emisiones de SO₂ que se generan.

El Camal: SO₂/BOSQUE

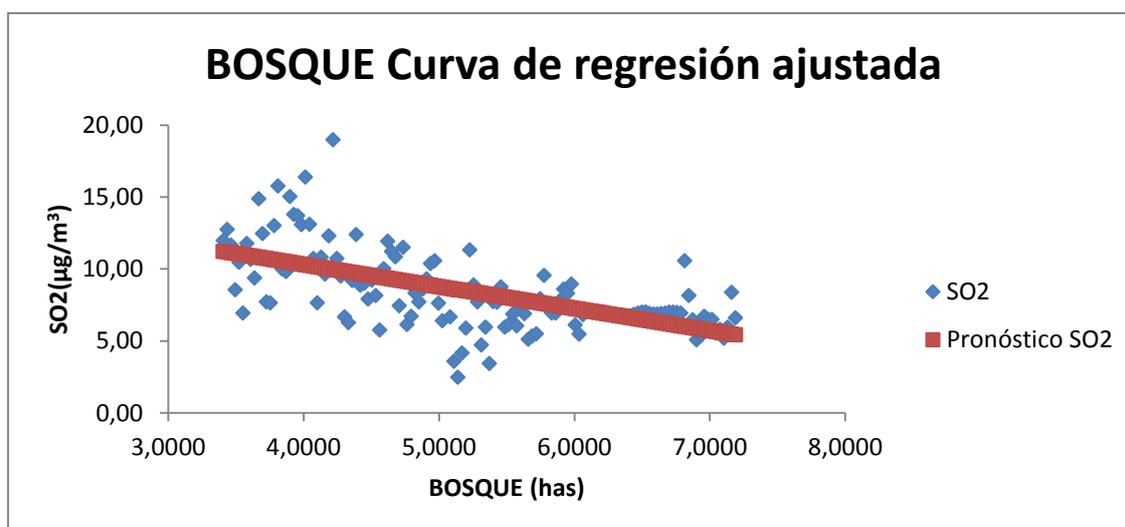


Figura 84. Correlación SO₂: Bosque Estación El Camal

Tabla 64.
Correlación SO₂: Bosque Estación El Camal

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,61237856
Coefficiente de determinación R ²	0,3750075
R ² ajustado	0,37019987
Error típico	2,19182498
Observaciones	132

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	374,731543	374,731543	78,0024969	6,0765E-15
Residuos	130	624,532579	4,80409676		
Total	131	999,264122			

Como se presenta en la Figura 83, existe una correlación positiva moderada que, si tiene significancia entre el bosque y el contaminante SO₂, en la estación de El Camal presentando un valor crítico de $F < 0.001$. estableciéndose una relación inversa, ya que al incrementarse el factor bosque el contaminante SO₂ tuvo tendencias de disminución.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En referencia a la estimación de cambios del área forestal de la ciudad de Quito entre los años 2007 y 2017, se pudo determinar que no existe una dinámica acelerada, salvo en estaciones como Belisario que fueron afectadas por proyectos como el parque Bicentenario, además en áreas periféricas como Cotocollao y Guamaní, que presentan incrementos moderados de áreas forestales. Sin embargo, existen zonas como en el Centro Histórico, Camal y Carapungo, donde se determinó que en el período estudiado ha existido una disminución en cuanto a arbustiva. Por otro lado, haciendo referencia a bosques, se evidencia que existe un crecimiento moderado en todas las áreas de estudio, excepto en la zona de Cotocollao que presenta disminución.

Las variaciones en la concentración de SO_2 , NO_2 , O_3 , CO y $\text{PM}_{2.5}$, en la ciudad de Quito recalcan la tendencia del uso del suelo por la extracción de los recursos naturales. Con respecto al SO_2 en las Estaciones de Cotocollao y Guamaní fueron menores, determinadas por un promedio de 1,54 y 1,96 respectivamente. En lo que respecta al NO_2 , muestra una tendencia reproducible en el año 2017, siendo la estación el camal la más representativa en lo respecta al (O_3) ozono troposférico en la estación de Guamaní, el contaminante CO representa una tendencia sin mayor variación en la estación de El Camal.

En el Cantón Quito se presenta un comportamiento fluctuante en el sector urbano. Referente al incremento de la masa forestal y la disminución de los gases contaminantes emitidos a la atmosfera. El resultado de la evaluación de los mapas de uso de cobertura forestal, el área Urbana determinada desde el año 2007 hasta el 2017 presenta una variación significativa, debido a que en ese periodo de tiempo se manifiesta una disminución de la contaminación atmosférica en correlación al incremento de la vegetación dentro de las áreas de influencia determinadas para este estudio de análisis, por lo que se puede decir que los efectos del cambio de cobertura afectan directamente a la calidad

de aire lo que va a determinar una gran influencia en planes futuros sobre revegetación de áreas urbanas dentro de ciudades de gran impacto ambiental como es la capital del Ecuador.

Gracias a los resultados obtenidos se ha determinado que los sistemas de información geográfica son una buena herramienta para la identificación del uso de suelo actual y pasado, Lo que de alguna manera valida la metodología de distribución de las Estaciones para reducir el sesgo en caso de que la vegetación como han demostrado otros estudios tenga alguna influencia en las mediciones de los contaminantes.

Finalmente es muy importante mencionar que como común denominador de los contaminantes, el que ha tenido disminución significativa en todas las estaciones estudiadas, es el Dióxido de Azufre (SO_2), cuya correlación es positiva moderada y con significancia, o que significa que se estableció una relación inversa entre las variables, es decir que mientras se incrementaron los factores forestales, el contaminante presentó tendencias de disminución a través del período estudiado.

6.2 Recomendaciones

Por los datos obtenidos mediante el análisis de la información es necesario tomar medidas que permitan socializar los resultados y así la ciudadanía tenga información de primera mano y puedan conocer el estado de la cobertura forestal y la calidad del aire.

Se recomienda identificar las tendencias y los comportamientos de los contaminantes vigilados, para prevenir sobre las posibles afectaciones a la población y el ambiente con el fin de tomar acciones encaminadas a controlar y mitigar efectos en la población.

La presente investigación representa un importante aporte que puede servir como referente para análisis en zonas de afectación ambiental, es decir se pueden tomar medidas preventivas y remediales que mitiguen los efectos nocivos que produce la baja calidad del aire.

REFERENCIAS

- Aguirre M.Z. (2014). *Determinación del estado de conservación de un bosque*. Recuperado el 13 de Abril del 2018 de <https://es.slideshare.net/zhofreaguirre/estado-conservacin-bosque-cinfa-et-al-200-6>
- Ambiente, S. D. (2016). *Atlas Ambiental*. Quito.
- Arciniégas, C. (2017). Diagnóstico y control del material articulado. *SciELO*, 17-63.
- Banegas, M. (2016). *Contaminación atmosférica*. Madrid: Fundación ambiente cultura y desarrollo.
- Barrera Zuñiga, R. A., & García Orduña, D. (2015). *Procesamiento, interpretación y análisis de imágenes satelitales en la banda de los 400 a 700 nanómetros para aplicaciones de percepción remota*. Recuperado el 21 de Abril del 2018 de <http://tesis.ipn.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/14571/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carnicer, J. M. (2016). *Contaminación Atmosférica*. Madrid: Escuela de negocios.
- Cárdenas, I. (2014). *Impacto de las prácticas agropecuarias y forestales sobre las propiedades físico-químicas de los suelos andinos del sur del Ecuador*. Cuenca.
- Céspedes T. (2007). *Evaluación de los servicios ecosistémicos prestados por los árboles al Campus de la Pontificia Universidad Javeriana*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Ciencias. (2017). *Ciencias Naturales*. Recuperado de <http://www.areaciencias.com/ecologia/que-es-la-deforEstación.html>
- Contreras, M. (2018). *Análisis de la contaminación atmosférica*. Santiago, Chile: Tusquets
- Corona, E. (2017). *Sistemas de información Geográfica*. Lima, Perú: ISBN
- EXELIS. (2014). *Exelis Visual Information Solutions, Inc*. Recuperado el 6 de Marzo del 2018 de

http://www.harrisgeospatial.com/portals/0/pdfs/envi/ENVI_Classic_Intro.pdf

Falconí, E. (2017). *Satélites*. Lima.

Ferrer, A., & Lòpez, F. J. (2016). *Bosque Urbano*. Recuperado el 18 de Mayo del 2018 de <http://bosqueurbanomalaga.org/index.php/quienes-somos/>

Forestal, E. (2017). *Bosque Nativo*. Recuperado el 19 de Mayo del 2018 de <http://ecuadorforestal.org/informacion-s-f-e/bosque-forestal/bosque-nativo>

Forests, A. (2007). *Urban Sumaries of American Forests. Urban Ecosystem Analysis*. Giorgia. U,S.: Makin Atlanta.

Galán, D. (2016). *La química atmosférica*. Lima, Perú: Emecé

Gómez, C. G. (2017). *Estimación de la emisiond de dixido de azufre*. Santiago: Universidad de Chile.

Glenn, T., & Osseiran, N. (2014). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el 24 de Mayo del 2018 de http://www.paho.org/arg/index.php?option=com_content&view=article&id=1314:la-calidad-del-aire-se-esta-deteriorando-en-muchas-de-las-ciudades-del-mundo&Itemid=228

Gurrutxaga San Vicente, M. (2014). *Índices de Fragmentación y Conectividad para el Indicador de Biodiverisidad y paisaje de la Comunidad Autónoma del país Vasco*. Recuperado el 16 de Marzo del 2018 de <https://www.researchgate.net>

INEC. (2010). *Presentaciòn del Índice Verde Urbano*. Recuperado el 18 de Junio del 2018 de www.inec.gob.ec

INEC. (2010). *VII Censo de poblaciòn y V de vivienda 2010*. Quito: Cartografia digital 2010.

INEGI. (2017). *Imagenesde Satélite*. Recuperado el 17 de Abril del 2018 de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/default.aspx>

Jiménez, B. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. Madrid : Mundi prensa .

- Lazaridis, M. (2010). *First Principles of Meteorology and Air Pollution*. Recuperado el 15 de Marzo del 2018 de <https://books.google.co.jp/books?id=OyzZdJRM0WoC&lpg=PA200&dq=pollutant%20air%20dispersion&pg=PA200#v=onepage&q&f=false>
- Leal del Castillo, G. (2004). *Introducción al Ecourbanismo: El Nuevo Paradigma Bogotá*, Colombia: ECOE.
- León, Y. (2016). *Introducción a las imágenes satelitales*. Lima, Perú: ISBN
- Liseand, R. (2016). Saltelites y sensores. *Scielo*, 21-56.
- Machala, T. (2012). *Contaminación del Aire* . Recuperado el 19 de Mayo del 2018 de <http://quimicaparaingenieria.blogspot.com/2012/12/contaminacion-del-aire.html>
- Mariscal, E. (2014). *Programa de naciones unidas para el medio ambiente* . Lima.
- Martinez Trinidad, T. (sf). *Bosques Urbanos los Pulmones de la Ciudad*. Recuperado el 19 de Abril del 2018 de <https://www.researchgate.net>
- Metropolitano, S. d. (2018). *Los árboles patrimoniales de Quito*. Recuperado el 25 de Marzo del 2018 de www.quitoambiente.gob.ec/
- Municipio Metropolitano de Quito . (2012). *Plan Metropolitano de Quito*. Quito, Ecuador.
- NASA. (2018). *Landsat Science*. Recuperado el 17 de Abril del 2018 de <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-data-continuity-mission/>
- O. M. (2017). *Organización Meteorológica Mundial*. Recuperado el 17 de Junio del 2018 de <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-aumento-de-la-concentraci%C3%B3n-de-gases-de-efecto-invernadero>.
- Pérez, B. (2016). *Ecosistemas y el cuidado del medio ambiente* .Recuperado el 19 de Junio del 2018 de <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/asanramf/files/2015/10/ECOSISTEMAS-Y-EL-CUIDADO-DEL-MEDIO-AMBIENTE-largo-comprimido.pdf>
- Pensamiento penal (2017). *La deforestación de los bosques protectores como un atentado*. Recuperado el 29 de Mayo del 2018 de

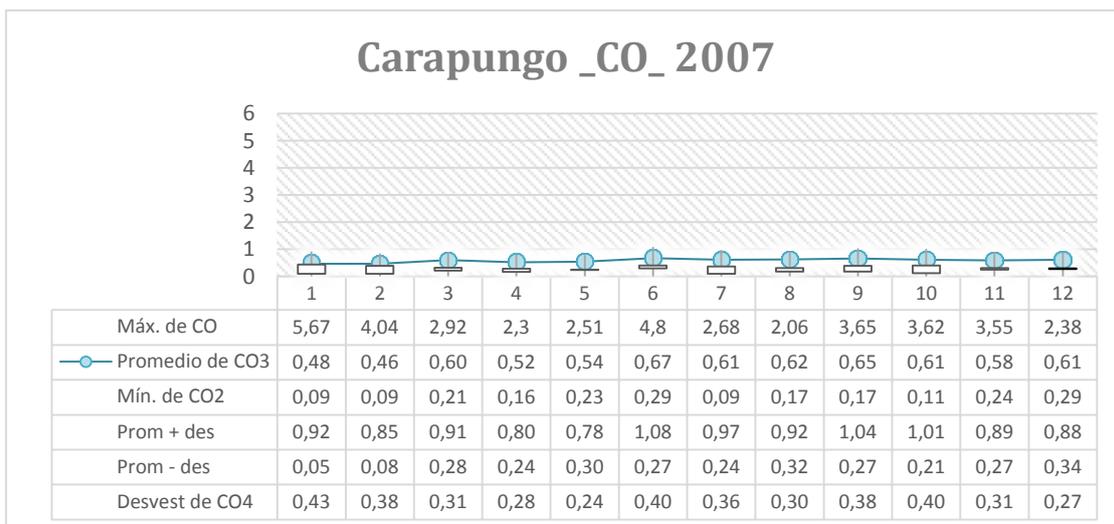
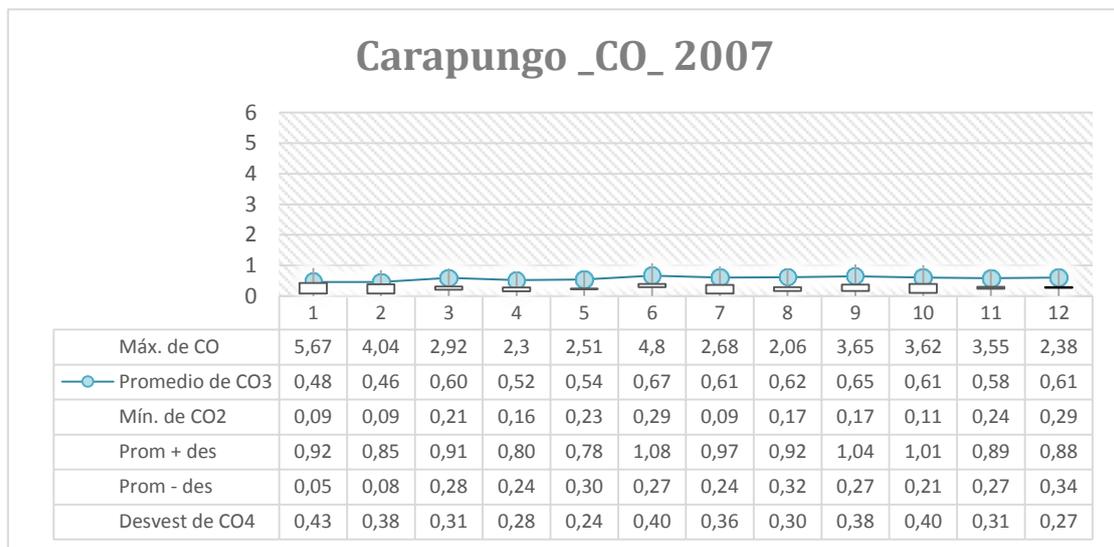
<http://www.pensamientopenal.com.ar/system/files/2015/06/doctrina41389.pdf>

- Placeres , R., Olite , D., & Alvarez , M. (2017). La contaminación del aire. *Revista cubana de higiene y epilomogía*, 1-14.
- Ponce, P. (2017). Estimación de las emisiones de dióxido de azufre - SO₂. 72-77.
- Ramírez, V. (2016). *Componenetes atmosféricos* . México : Grupo editorial patria .
- Rodriguez, O. (2016). *Manual para el procesamiento de imágenes satelitales* . Madrid .
- Santana Rodriguez, L. M., Escobar Jaramillo , L. A., & Capote, P. A. (2010). Estimación de un Índice de calidad ambiental urbano, a partir de imagenes de satélite. *SCIELO*, 77-95.
- Salvay, A. (2015). *Recurso aire*. El Rosario: Legislación en higiene y seguridad. Secretaría del Ambiente. (2010). *Informe Anual 2009 La calidad del aire en Quito*. Quito: ISBN.
- Vargas, F. (2016). *La contaminación como factor determinante para la salud*. Recuperado el 19 de Mayo del 2018 de <http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v79n2/editorial1.pdf>
- Villamil, A. (2017). *Economía y medio ambiente*. Madrid: Centro de estudios Ramón Areces, S.A. Recuperado el 19 de Junio del 2018 de http://oa.upm.es/39446/1/JOSE_ESTEBAN_TORRACCHI_CARRASCO.pdf
- Wu, S., Hou, Y., & Yuan, G. (2010). Valoración de los bienes y servicios ecosistémicos y del capital forestal natural de la municipalidad de Beijing (China). *Unasylava*, 61(234/235), 28-36.
- Zea , J., Leon , G., & Eslava , A. (2015). El ozono yestratosférico y la capa de ozono. *Meteorología Colombiana* , 47-55.

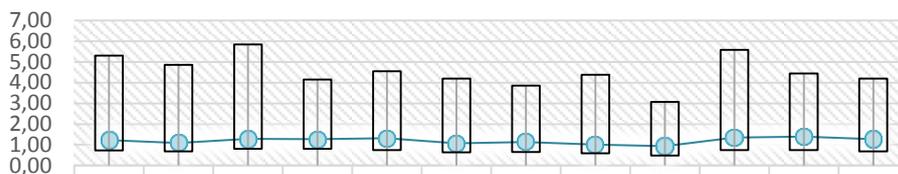
ANEXOS

En el apartado de anexos se muestran los datos del proceso que se realizó en la presente investigación, según ello se definieron los valores de calidad de aire en un período de diez años, lo cual se presentan en los anexos a continuación, y en los cuales se puede observar de cada uno la tendencia en los años estudiados 2007 y 2017.

Anexo 1. Valores Promedios, Máximos, Mínimos, Desviación estándar y un rango dentro del promedio en este caso del contaminante de Monóxido de Carbono (CO).

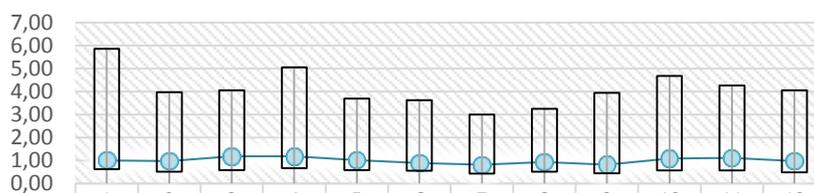


Belisario_CO_2007



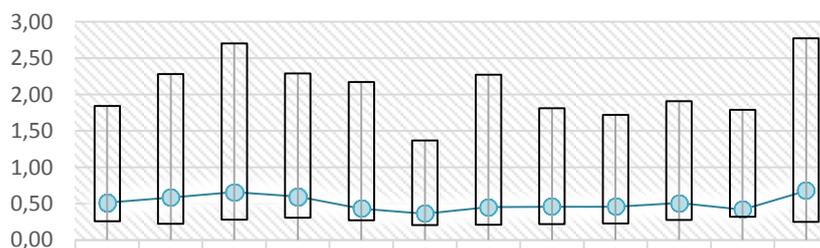
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Prom + des	1,96	1,77	2,09	2,07	2,06	1,71	1,78	1,59	1,41	2,09	2,14	1,96
Máx. de CO	5,3	4,86	5,85	4,15	4,55	4,19	3,85	4,38	3,07	5,58	4,44	4,19
Mín. de CO2	0,11	0,02	0,11	0	0,22	0,09	0,14	0	0,19	0,35	0,29	0,25
Promedio de CO3	1,23	1,08	1,28	1,27	1,31	1,07	1,14	1,01	0,93	1,35	1,39	1,27
Prom - des	0,50	0,40	0,48	0,47	0,56	0,43	0,49	0,42	0,45	0,61	0,64	0,59
Desvest de CO4	0,73	0,69	0,80	0,80	0,75	0,64	0,65	0,59	0,48	0,74	0,75	0,69

Centro_CO_2007



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Prom + des	1,63	1,48	1,76	1,84	1,61	1,45	1,24	1,44	1,27	1,65	1,68	1,46
Máx. de CO	5,86	3,97	4,05	5,05	3,7	3,62	3	3,25	3,94	4,68	4,27	4,05
Mín. de CO2	0,15	0,23	0,18	0,13	0,16	0,17	0,24	0	0,22	0,27	0,23	0,27
Promedio de CO3	1,00	0,97	1,17	1,18	1,02	0,89	0,81	0,94	0,82	1,08	1,11	0,97
Prom - des	0,38	0,47	0,59	0,51	0,44	0,34	0,39	0,43	0,38	0,52	0,54	0,48
Desvest de CO4	0,63	0,51	0,58	0,66	0,58	0,55	0,43	0,51	0,45	0,56	0,57	0,49

Guamaní_CO_2007



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Prom + des	0,77	0,80	0,94	0,90	0,70	0,57	0,66	0,67	0,69	0,78	0,74	0,93
Máx. de CO	1,84	2,28	2,7	2,29	2,17	1,37	2,27	1,81	1,72	1,91	1,79	2,77
Mín. de CO2	0,1	0,16	0,18	0,13	0,01	0,06	0,16	0	0,14	0,08	0	0,27
Promedio de CO3	0,51	0,58	0,66	0,60	0,43	0,36	0,45	0,46	0,46	0,51	0,42	0,68
Prom - des	0,26	0,36	0,38	0,29	0,16	0,15	0,24	0,24	0,23	0,23	0,10	0,43
Desvest de CO4	0,26	0,22	0,28	0,31	0,27	0,21	0,21	0,22	0,23	0,27	0,32	0,25

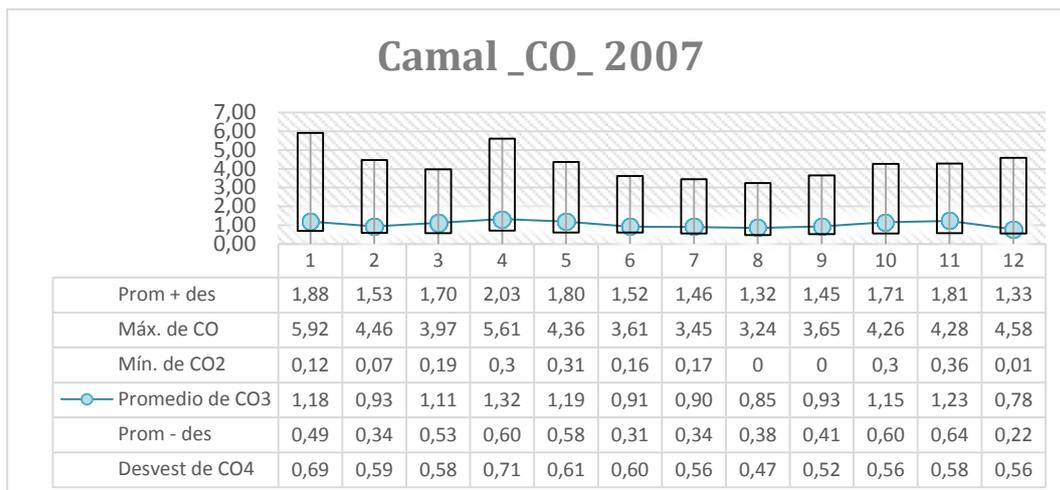
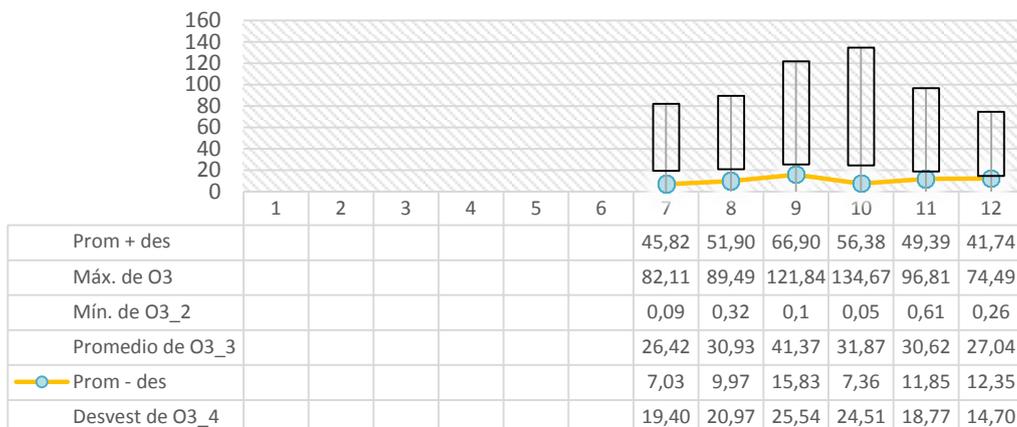


Figura 85. Datos obtenidos del contaminante de Monóxido de Carbono (CO)

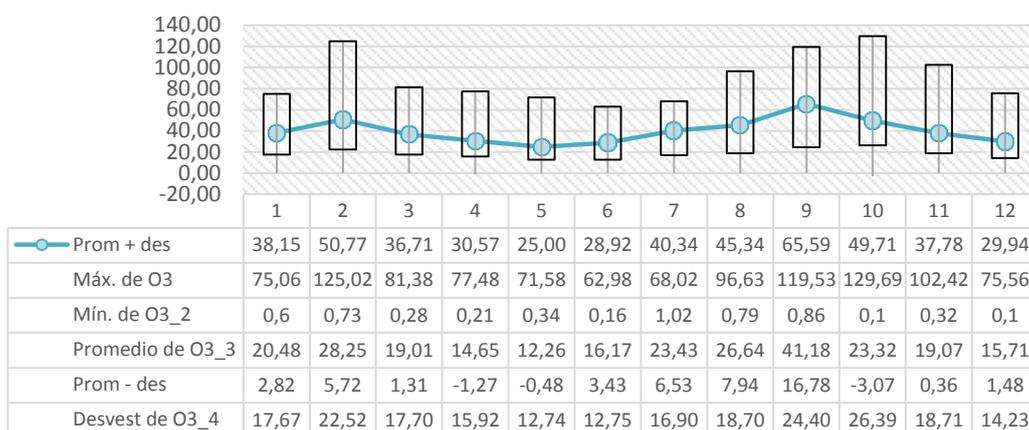
Anexo 2. Los valores Promedios, Máximos, Mínimos, Desviación estándar y un rango dentro del promedio en este caso del contaminante de Ozono Troposférico (O₃), de cada estación.



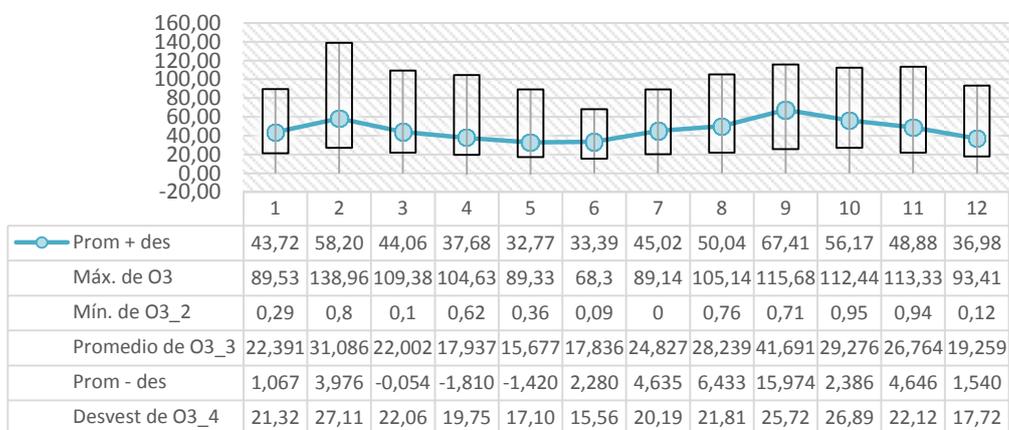
Carapungo_03_2007



Belisario_03 - 2007



Centro_03_2007



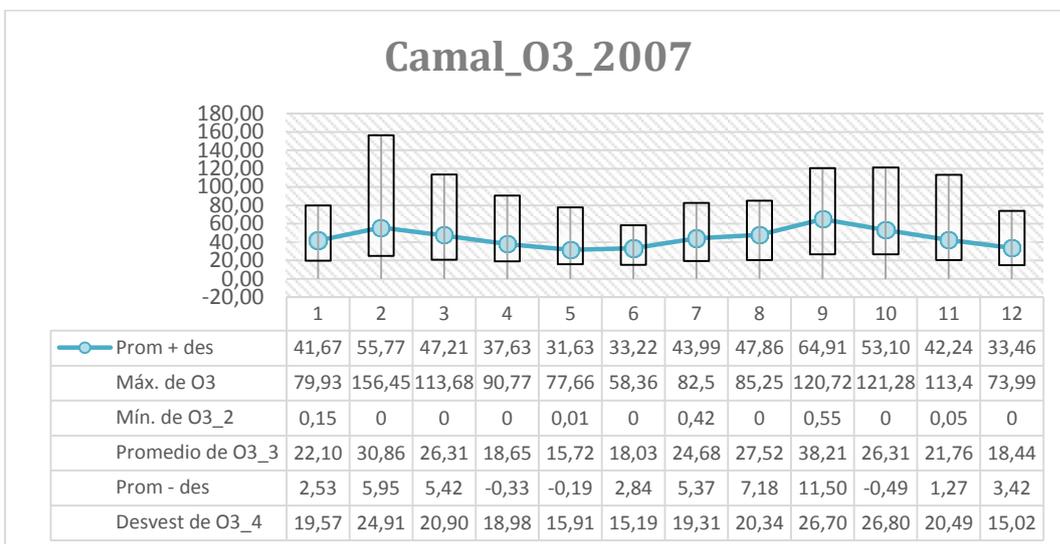
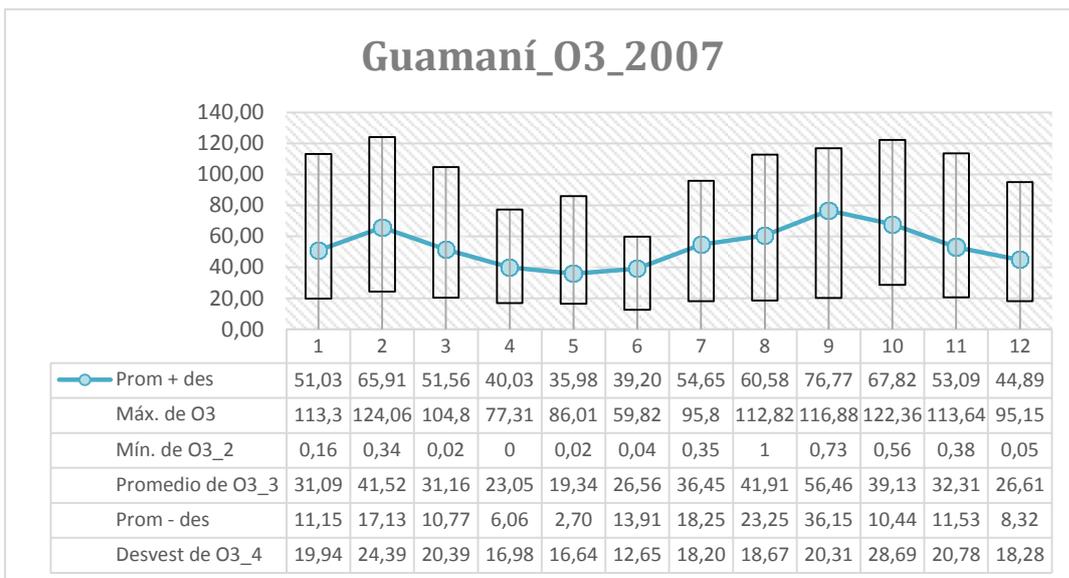
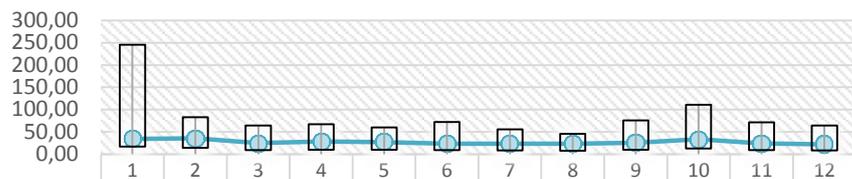


Figura 86. Contaminante de Ozono Troposférico (O₃)

Anexo 3. Los valores Promedios, Máximos, Mínimos, Desviación estándar y un rango dentro del promedio en este caso del contaminante de Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}), de cada estación.

Cotocollao_PM2.5_2007



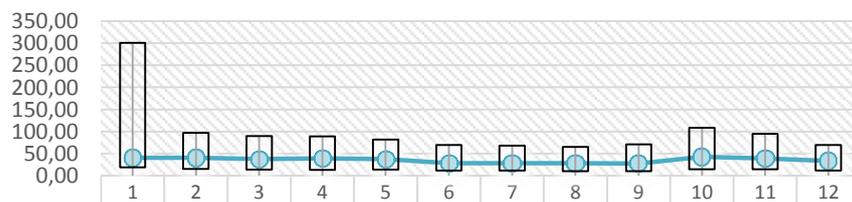
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Prom + des	34,11	35,42	24,76	28,59	27,26	23,53	23,16	23,28	25,79	33,22	24,41	22,02
Máx. de PM2.5	245,69	82,85	63,94	67,39	60,21	71,74	55,24	45,42	75,69	110,88	71,3	64,34
Mín. de PM2.5_2	0	0,27	1,22	0,48	0	0,12	0,01	0	0,51	0,17	0,03	0
Promedio de PM2.5_3	17,41	21,48	15,81	18,80	17,39	14,86	14,55	15,68	16,28	20,44	15,30	13,60
Prom - des	0,72	7,53	6,85	9,01	7,52	6,19	5,94	8,09	6,78	7,66	6,20	5,18
Desvest de PM2.5_4	16,69	13,94	8,95	9,79	9,87	8,67	8,61	7,59	9,51	12,78	9,11	8,42

Carapungo_PM2.5_2007



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Máx. de PM2.5	274,96	136,09	174,46	92,43	82,13	90,4	95,26	57,53	93,26	98,43	75,4	53,63
Mín. de PM2.5_2	0	0	0	0	0	0	0	1,07	1,2	0,95	0,16	0,03
Promedio de PM2.5_3	21,59	24,44	21,03	20,62	19,83	20,06	18,48	17,49	19,99	20,99	15,34	13,51
Prom - des	-0,35	6,19	3,49	5,69	5,47	5,26	5,40	9,22	8,56	7,06	5,71	5,13
Prom + des	43,53	42,70	38,57	35,56	34,19	34,86	31,56	25,76	31,43	34,91	24,97	21,88
Desvest de PM2.5_4	21,94	18,25	17,54	14,94	14,36	14,80	13,08	8,27	11,43	13,93	9,63	8,37

Belisario_PM 2.5_2007



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Prom + des	40,71	40,85	37,68	39,26	37,61	28,42	28,12	28,33	27,48	43,01	38,89	33,29
Máx. de PM2.5	300,77	96,87	89,88	89,01	81,84	69,12	68,18	65,35	71,11	108,33	94,39	69,5
Mín. de PM2.5_2	0	1,04	1,46	2,37	0,6	0	0	0,66	0,4	0	2,33	0,66
Promedio de PM2.5_3	21,72	25,43	24,23	26,04	23,68	16,86	16,67	18,00	17,07	28,67	24,44	21,64
Prom - des	2,73	10,00	10,78	12,82	9,74	5,30	5,22	7,67	6,66	14,33	9,99	9,99
Desvest de PM2.5_4	18,99	15,43	13,45	13,22	13,94	11,56	11,45	10,33	10,41	14,34	14,45	11,65

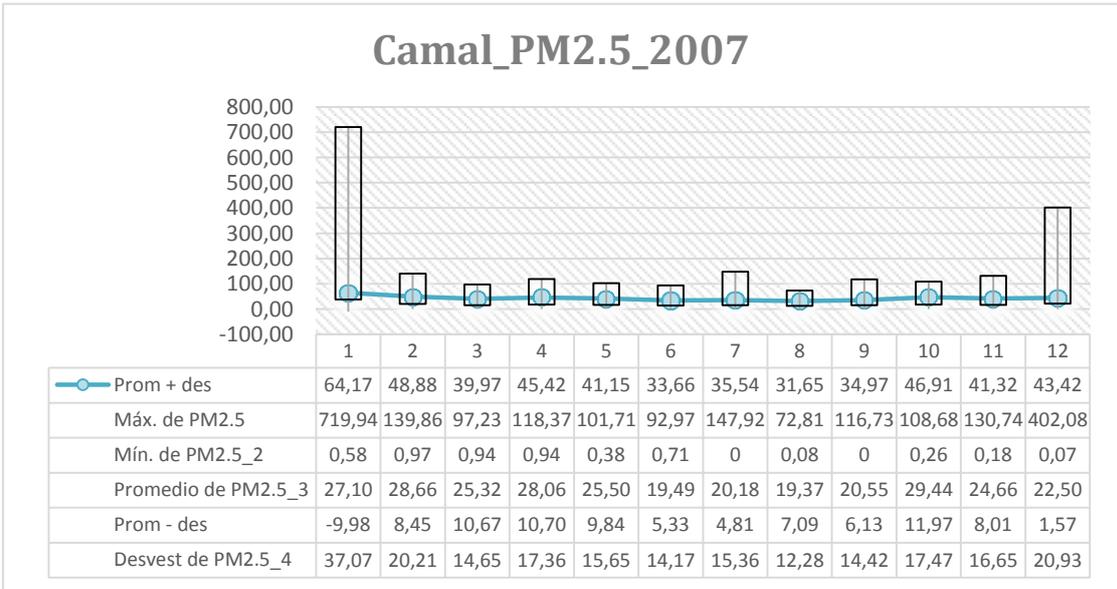
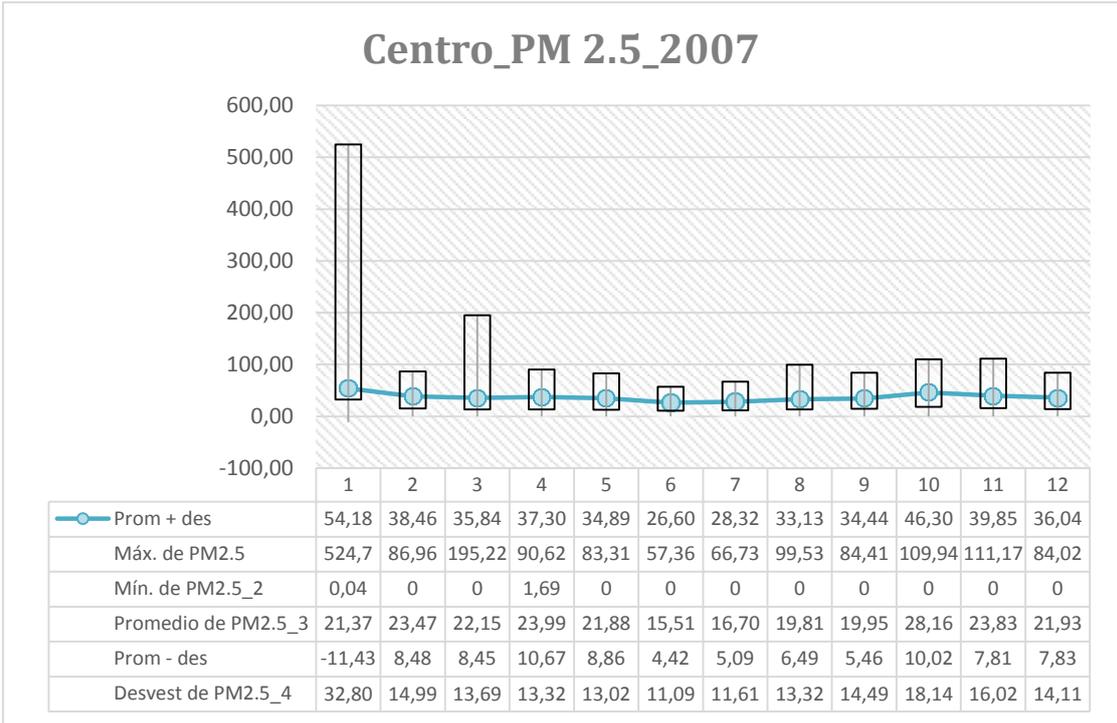
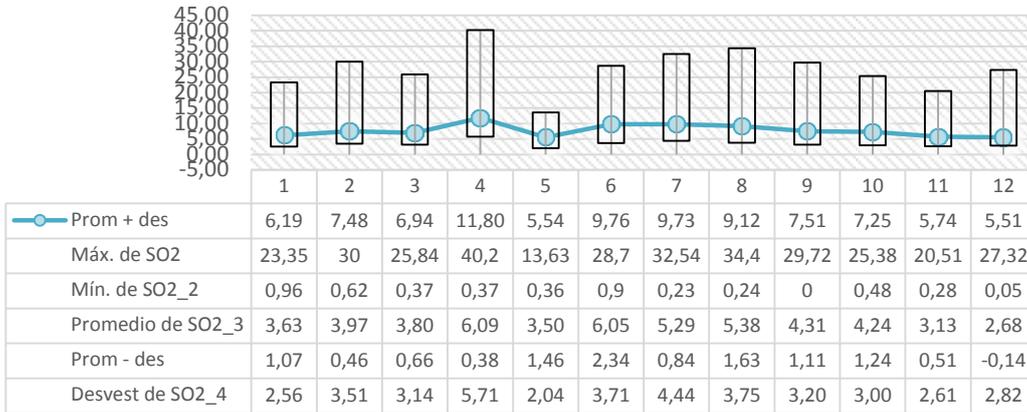


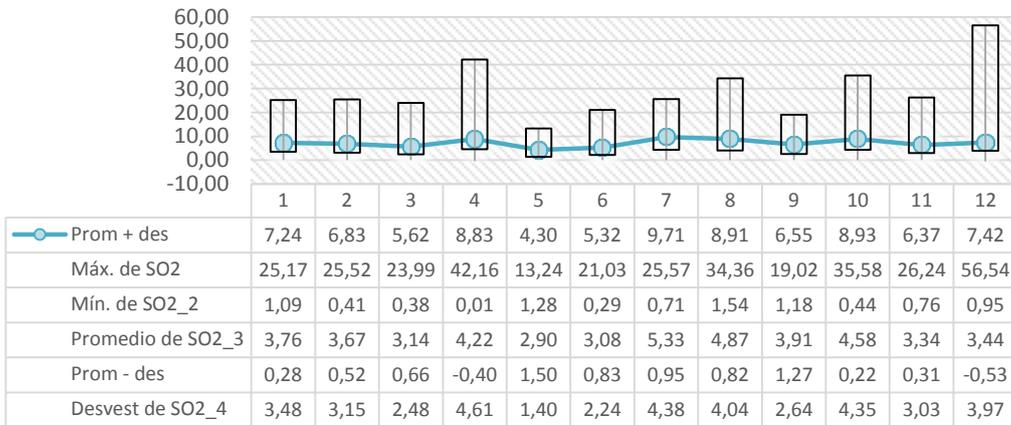
Figura 87. El contaminante de Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5})

Anexo 4. Los valores Promedios, Máximos, Mínimos, Desviación estándar y un rango dentro del promedio en este caso del contaminante del contaminante de Dióxido de Azufre (SO₂).

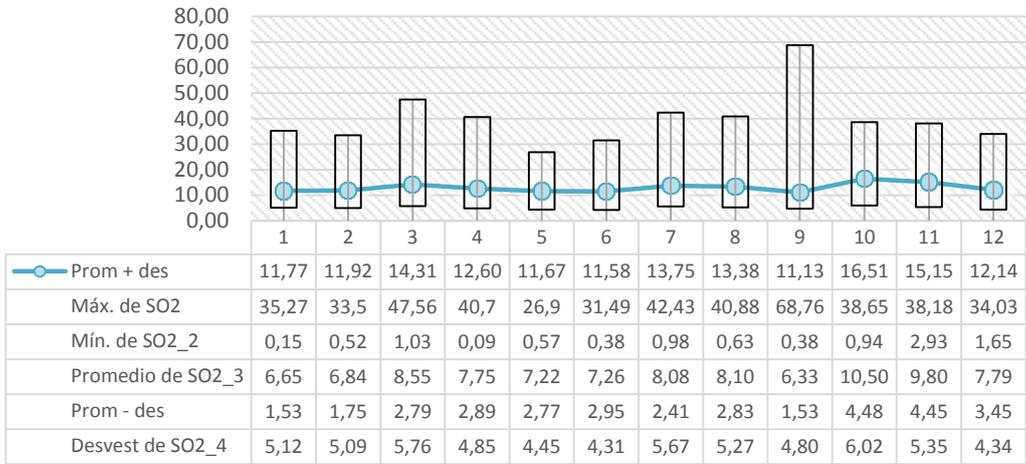
Cotocollao_SO2_2007



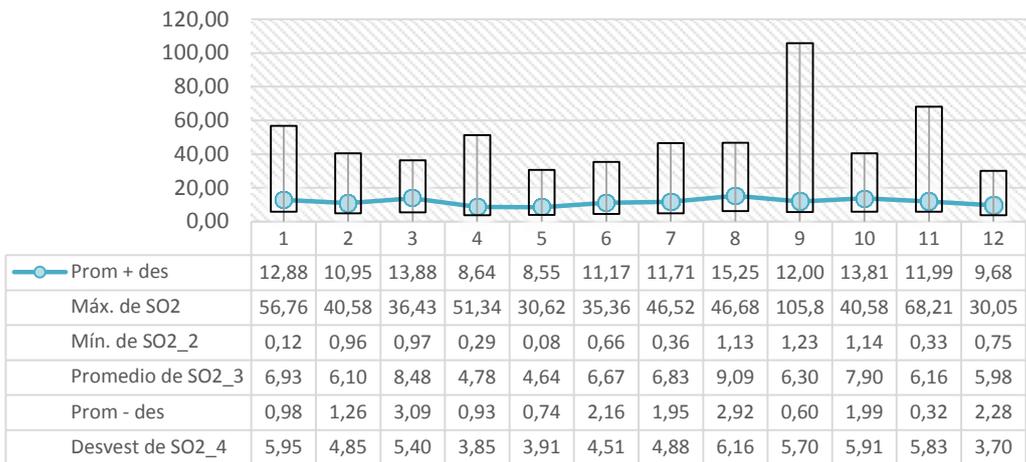
Carapungo_SO2_2007



Belisario_SO2_2007



Centro_SO2_2007



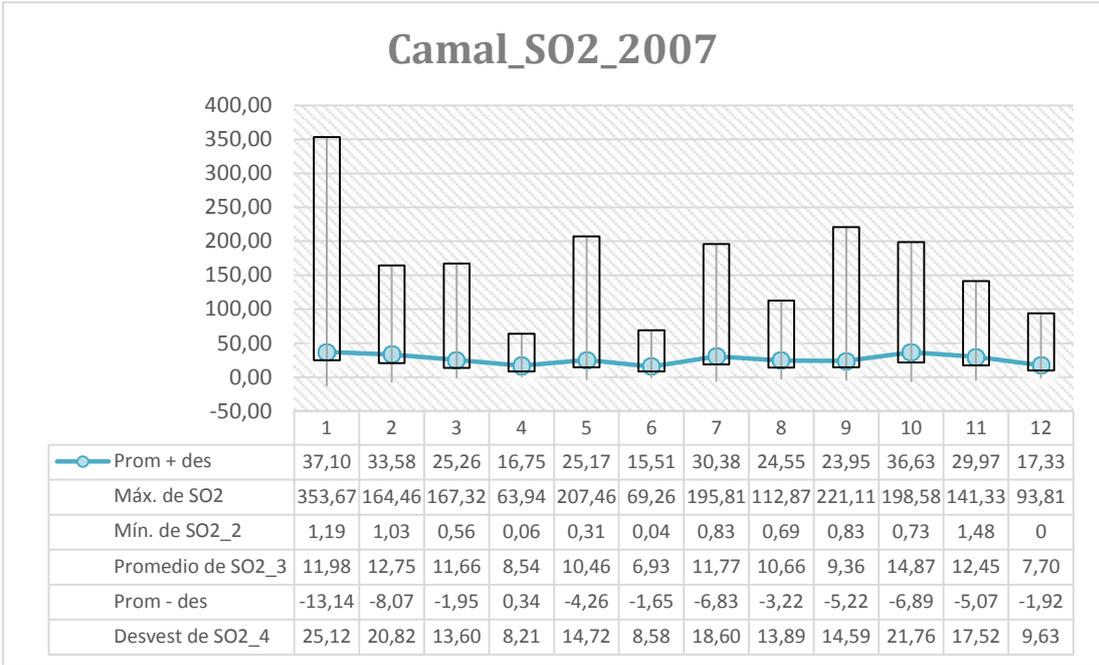


Figura 88. El contaminante de Partículas menores a 2,5 micrómetros (PM_{2,5})

Área del antiguo Aeropuerto “Mariscal Sucre” de Quito del año 2007

Área del antiguo Aeropuerto “Mariscal Sucre” de Quito del año 2017

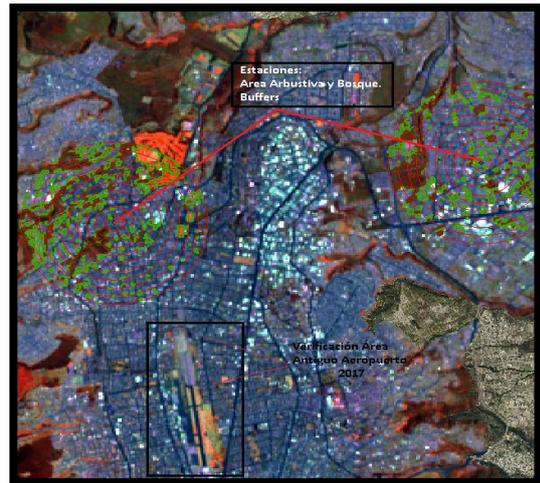
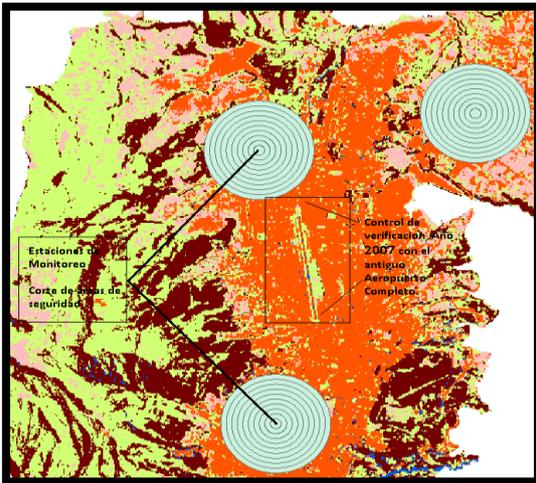


Figura 89 y 90. Ejemplo de Comparación de la imagen Landsat del año 2007 con la del año 2017 del área del antiguo Aeropuerto “Mariscal Sucre” del Distrito de Quito.

Anexo 5. Procesamiento de imágenes satelitales referente al uso del suelo en un bufer de 1500 metros de cada estación de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Quito

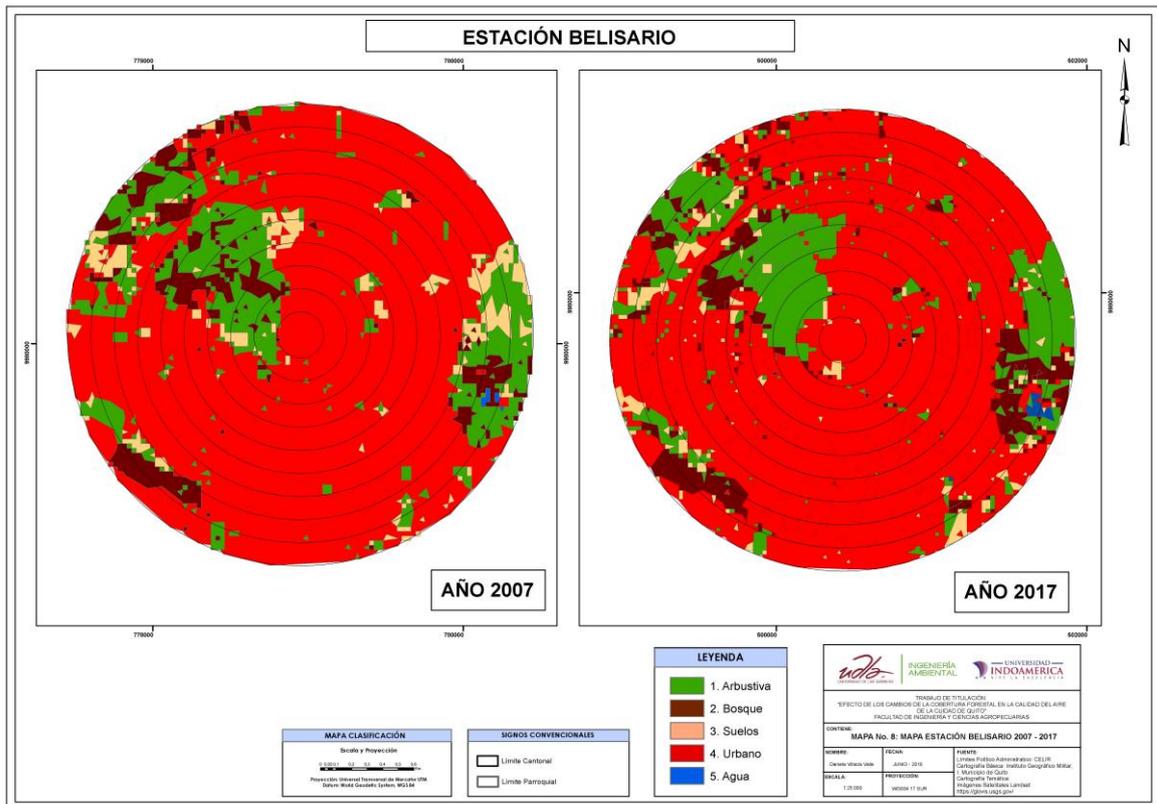


Figura 91. Mapa de comparación del uso de suelo del período 2007 y 2017 de la Estación de Monitoreo Belisario.

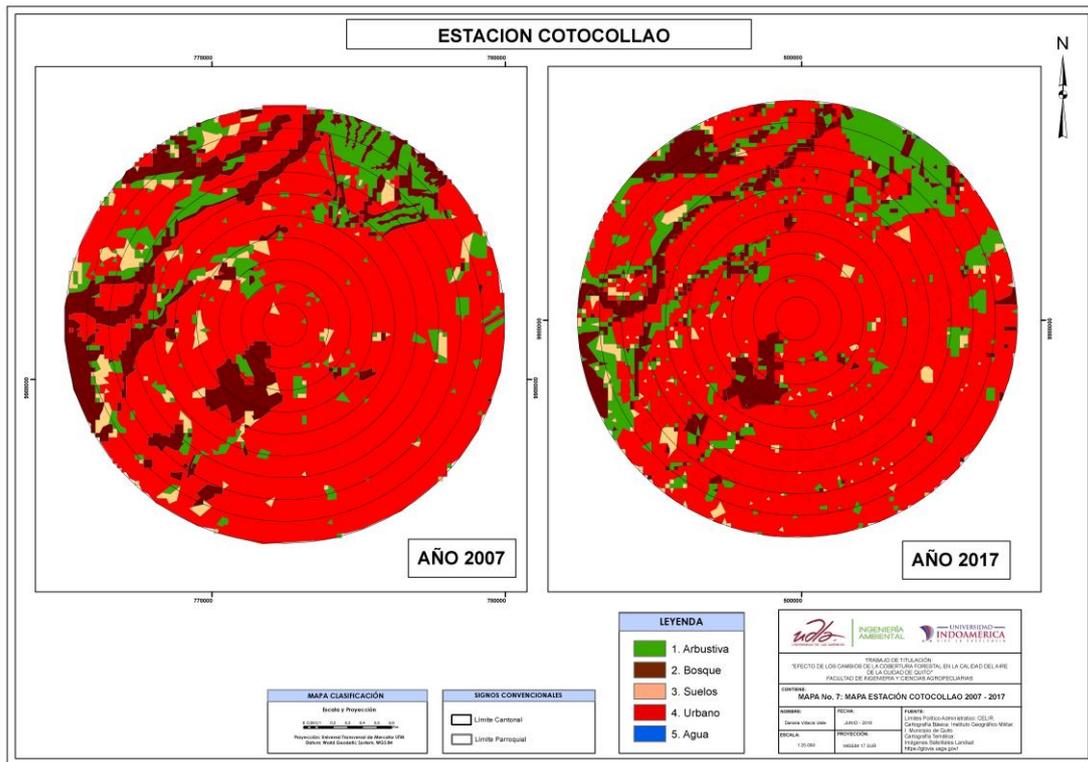


Figura 92. Mapa de comparación del uso de suelo del período 2007 y 2017 de la Estación de Monitoreo Cotocollao.

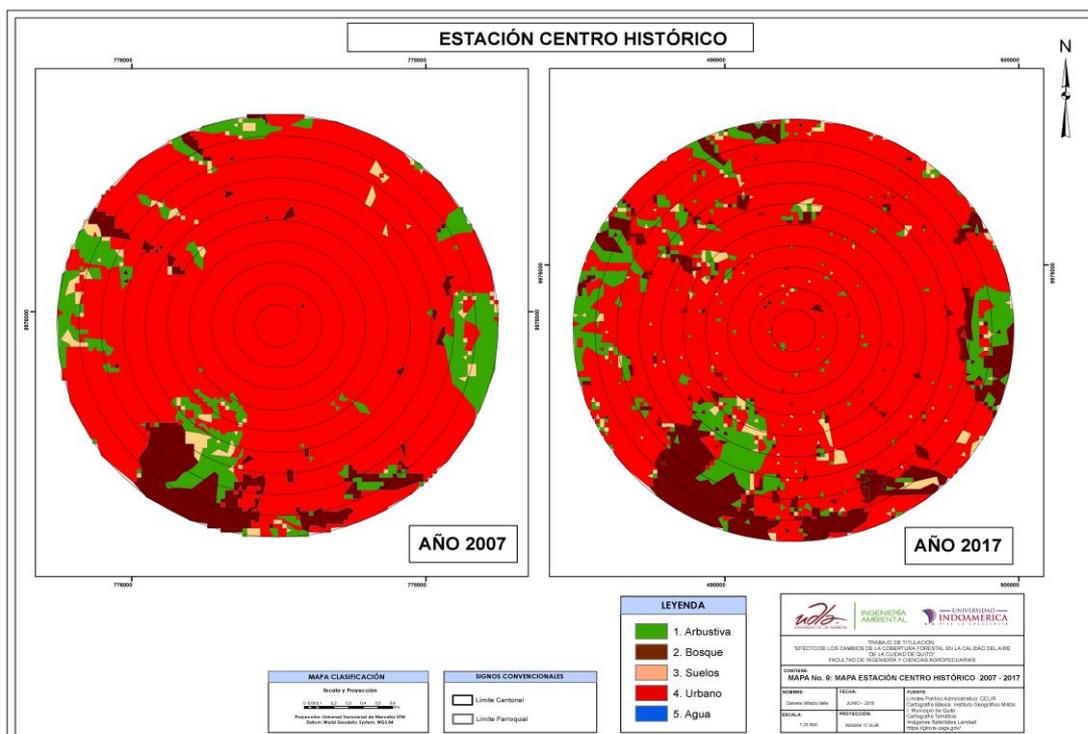


Figura 93. Mapa de comparación del uso de suelo del período 2007 y 2017 de la Estación Centro Histórico

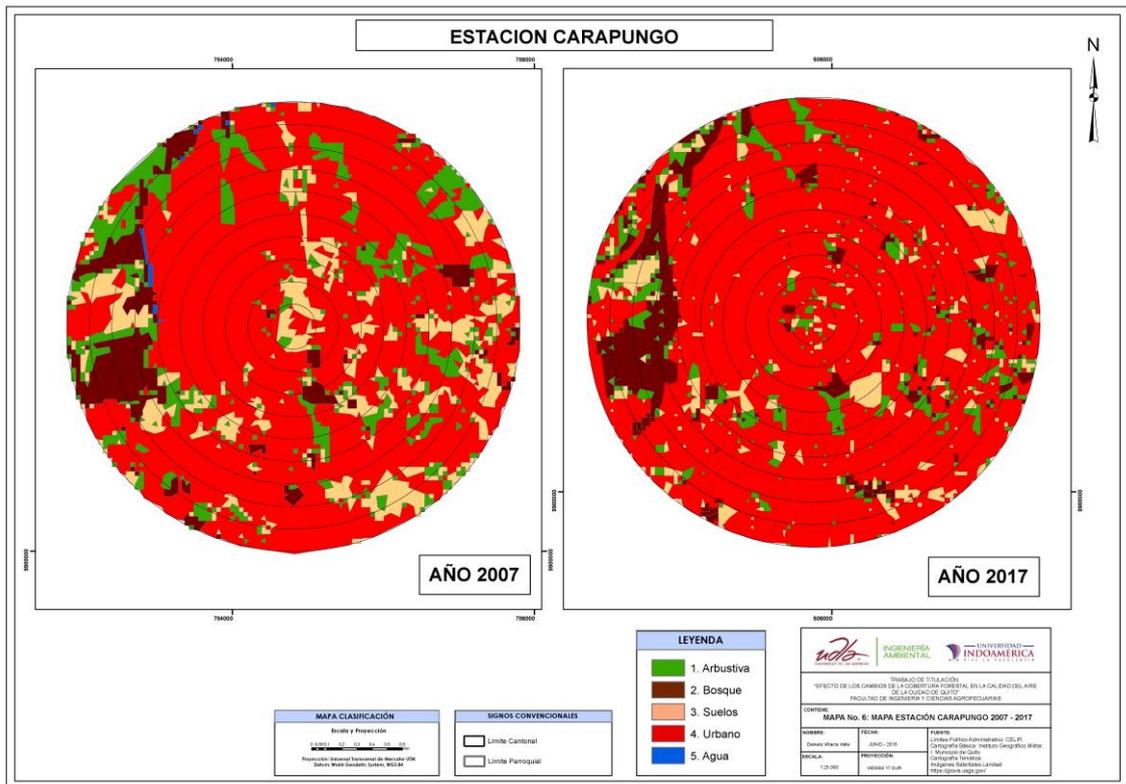


Figura 96. Mapa de comparación del uso de suelo del período 2007 y 2017 de la Estación Carapungo

