

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Inventario de emisiones atmosféricas producidas por
incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito.
Septiembre de 2015**

Proyecto de investigación

Karla Gabriela Espinosa Mantilla

Ingeniería Ambiental

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera Ambiental

Quito, 21 de mayo de 2018

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Inventario de emisiones atmosféricas producidas por incendios
forestales en el Distrito Metropolitano de Quito. Septiembre de 2015**

Karla Gabriela Espinosa Mantilla

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

René Parra, Ph.D.

Firma del profesor

Quito, 21 de mayo de 2018

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Karla Gabriela Espinosa Mantilla

Código: 00112612

Cédula de Identidad: 1718325937

Lugar y fecha: Quito, 21 de mayo de 2018

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias a Dios por las capacidades que ha puesto en mí y la fuerza que me ha otorgado para completar esta meta.

Agradezco a mis padres, Carlos y Leyla, por apoyarme a lo largo de mis años universitarios en todas las maneras posibles y por darme la confianza que necesitaba para cumplir este sueño y todos los que faltan. Al resto de mi familia, le doy gracias por su apoyo y su cariño.

A mi director de Tesis, René Parra, le agradezco por darme la oportunidad de trabajar con él. También le doy gracias por el tiempo, trabajo y cuidado que dedicó para guiarme mientras realizaba este trabajo.

A los profesores del departamento de Ingeniería Ambiental de la USFQ, les agradezco por inculcar en mí la dedicación, la búsqueda de la excelencia, la integridad, la entrega y la pasión que debe tener un profesional de este campo.

Agradezco a mis amigos de la universidad, por hacer de estos años los mejores que he tenido hasta ahora.

A mis amigos de la carrera de Ingeniería Ambiental, les agradezco por compartir las horas de clase y las de estudio, el estrés, la emoción por graduarse y volverlos más llevaderos.

RESUMEN

Septiembre de 2015 fue un periodo con incendios forestales de magnitud en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Particularmente, los incendios forestales fueron numerosos y de gran magnitud durante el 14 de septiembre. En este día, se superó la concentración límite de O_3 de la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, en todas las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire de Quito. Para este evento de contaminación, uno de los más importantes en Quito durante los últimos 15 años, a más de las emisiones de otras fuentes regulares, fue decisivo el aporte de las emisiones por incendios forestales. Se presenta un inventario de las emisiones atmosféricas asociadas a los incendios forestales durante septiembre de 2015. Para este propósito, se utilizó un dominio cuadrado de 120×120 celdas de 1 km^2 cada una, que cubre al territorio del DMQ. La estimación de las áreas quemadas se realizó con base en tres fuentes de información: 1) imágenes de los satélites Terra y Aqua, que contienen el sensor MODIS; 2) información proporcionada por el Cuerpo de Bomberos del DMQ; y 3) notas de prensa que reportan información sobre los incendios forestales de todo el mes. En base a los incendios identificados en las imágenes satelitales, éstos se asignaron a las correspondientes celdas de la malla del inventario. Los factores de emisión se tomaron de la literatura, en función del tipo de suelo afectado. Para el 14 de septiembre, los resultados indican que los contaminantes con mayores emisiones fueron el CO , PM_{10} , $PM_{2.5}$, $NMVOCs$ y NO_x , con magnitudes de 39.7 kt d^{-1} , 7.1 kt d^{-1} , 5.1 kt d^{-1} , 2.2 kt d^{-1} y 0.8 kt d^{-1} respectivamente. Se estima que las emisiones de $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO , $NMVOCs$ y NO_x fueron 288, 117, 50, 5 y 3 veces más altas respectivamente, en comparación con las emisiones durante un día laborable normal. Se prevé que estos resultados presentan un alto nivel de incertidumbre, entre otros motivos, por las asunciones en el cálculo de emisiones, el uso de factores de emisión de la literatura y la posibilidad de incendios pequeños no detectados por los sensores remotos. A futuro, se probará la calidad de estas emisiones mediante la simulación numérica del evento de contaminación del 14 de septiembre de 2015 en Quito.

Palabras clave: DMQ, contaminación por O_3 , Terra, Aqua, simulación numérica.

ABSTRACT

September 2015 was a month when forest fires in the Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) were frequent and wide, being September 14th the most outstanding day. On that day, the O₃ concentrations exceeded the limit by the national regulation in all the air quality stations of Quito. In the last 15 years, no other pollution event had been more remarkable than this one. The contribution of emissions linked to forest fires, plus the emission of other existent sources, was crucial for this pollution event. An emission inventory is presented to account the atmospheric emissions linked to the forest fires which happened in September 2015. For this purpose, a square domain of 120 x 120 cells which covers the DMQ territory was used. Each cell has an area of 1 km². Burned area estimation was done using three information sources: 1) images from the satellites Terra and Aqua, which have the MODIS remote sensor; 2) information given by the Cuerpo de Bomberos del DMQ; and 3) news reports about forest fires during that month. Based on the identification using the satellite images, forest fires were assigned to the corresponding cells of the emission inventory domain. Emission factors were taken from literature, based on the type of damaged soil. For September 14th, results show the contaminants with the greatest emissions were CO, PM₁₀, PM_{2.5}, NMVOCs and NO_x, with values of 39.7 kt d⁻¹, 7.1 kt d⁻¹, 5.1 kt d⁻¹, 2.2 kt d⁻¹ and 0.8 kt d⁻¹ respectively. It was estimated that the emissions of PM_{2.5}, PM₁₀, CO, NMVOCs and NO_x were 288, 117, 50, 5 and 3 times higher in comparison with the emissions from a normal working day. It is expected for this inventory to show high uncertainty, because of the assumptions in the computing of emissions, the use of literature emission factors and the possibility of small forest fires non detected by the remote sensors. In the future, the quality of these emissions will be tested by numerical simulation of the pollution event that took place in Quito during September 14th 2015.

Key words: DMQ, O₃ pollution, Terra, Aqua, numerical simulation.

Tabla de Contenido

ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Antecedentes	12
1.2 Incendios forestales e inventarios de emisión en Ecuador	14
1.3 Incendios forestales y su aporte a la contaminación atmosférica	15
1.4 Objetivos	16
1.4.1. Objetivo General.	16
1.4.2 Objetivos Específicos	16
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Inventario de emisiones atmosféricas	17
2.1.1 Características de los inventarios de emisiones.....	17
2.1.2 Enfoques de los inventarios de emisiones.	18
2.1.3 Técnicas de estimación de emisiones	18
2.2 Contaminantes	20
2.2.1 Monóxido de carbono (CO).....	20
2.2.2 Óxidos de nitrógeno (NO _x).	21
2.2.3 Material particulado (PM ₁₀ y PM _{2.5}).	21
2.2.4 Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (NMVOCs).	21
2.2.5 Dióxido de azufre (SO ₂).	22
2.3 Especiación	22
2.4 Análisis de incertidumbre.....	22
3. MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	27
3.1 Área de estudio	27
3.2 Características del inventario	28
3.3 Cálculo de emisiones.....	29
3.3.1 Modelo de emisiones.	29
3.3.2 Área quemada.	29
3.3.3 Factores de emisión.	37
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1 Fichas técnicas construidas	40
4.2 Estimación del área quemada	44
4.3 Emisiones por incendios forestales.....	45

4.3.1. Distribución temporal de las emisiones	46
4.3.1. Distribución espacial de las emisiones	47
4.4 Comparación con información oficial	54
4.5 Incremento a emisiones típicas de septiembre de 2015 causado por emisiones de incendios forestales	56
4.6 Especiación de las emisiones de incendios forestales	59
4.7 Análisis de incertidumbre.....	60
4.7.1 Posibles fuentes de incertidumbre en el inventario	60
4.7.2 Calificación del área quemada y los factores de emisión	61
5. CONCLUSIONES	64
6. RECOMENDACIONES	65
7. REFERENCIAS	66
ANEXO 1	73
Fichas técnicas para los días de septiembre de 2015 que presentaron incendios forestales.	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contribución de las emisiones por incendios forestales a las emisiones atmosféricas totales en el DMQ, determinadas en inventarios previos	15
Tabla 2. Características de inventarios de emisión según su objetivo.....	18
Tabla 3. Sistema de calificación de la actividad.	24
Tabla 4. Sistema de calificación de los factores de emisión.	25
Tabla 5. Matriz de calificación de las estimaciones de las emisiones.....	25
Tabla 6. Información de incendios forestales proporcionada por el CBDMQ	30
Tabla 7. Días de septiembre 2015 con presencia (✓) o ausencia (✗) de incendios forestales según información satelital de MODIS.....	34
Tabla 8. Factores de emisión usados en el inventario (Wiedinmyer et al., 2011)	39
Tabla 9. Ficha técnica con información de incendios forestales correspondiente al 1 de septiembre de 2015	40
Tabla 10. Ficha técnica con información de incendios forestales correspondiente al 14 de septiembre de 2015	41
Tabla 11. Emisiones asociadas a incendios forestales por día de incendio	45
Tabla 12. Emisiones por incendios forestales de Septiembre de 2015 dentro de la malla del inventario y dentro del DMQ.	56
Tabla 13. Incremento en las emisiones mensuales del DMQ asociado a incendios forestales. .	57
Tabla 14. Emisiones para un día laborable de septiembre	58
Tabla 15. Incremento en el nivel de emisión de un día laborable de septiembre 2015 en el DMQ asociado a incendios forestales	59
Tabla 16. Análisis de incertidumbre para las emisiones por incendios forestales.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las estaciones de la REMMAQ en Quito (azul).....	13
Figura 2. Concentración máxima octohoraria de O ₃ medida en las estaciones de la REMMAQ para cada día de septiembre de 2015.....	13
Figura 3. Ubicación del Distrito Metropolitano de Quito.....	27
Figura 4. Malla del inventario de emisiones compuesta por 120 celdas horizontales y verticales, cada una de 1 km ² de área.....	28
Figura 5. Imagen de la zona de estudio registrada por el satélite Terra a las 10h30 del 1 de septiembre de 2015.....	32
Figura 6. Imagen de la zona de estudio registrada por el satélite Aqua a las 13h30 del 1 de septiembre de 2015.....	32
Figura 7. Imagen de la zona de estudio registrada por el satélite Terra a las 10h30 del 14 de septiembre de 2015.....	33
Figura 8. Imagen de la zona de estudio registrada por el satélite Aqua a las 13h30 del 14 de septiembre de 2015.....	33
Figura 9. Malla de inventario colocada sobre la imagen satelital del 14 de Septiembre de 2015 registrada por el satélite Terra.....	35
Figura 10. Ejemplo de localización de incendios en celdas del inventario.....	36
Figura 11. Mapa de emisión de PM _{2,5} generado por incendios forestales para el 1 de septiembre de 2015.....	47
Figura 12. Mapa de emisión de PM _{2,5} generado por incendios forestales para el 5 de septiembre de 2015.....	48
Figura 13. Mapa de emisión de PM _{2,5} generado por incendios forestales para el 7 de septiembre de 2015.....	48
Figura 14. Mapa de emisión de PM _{2,5} generado por incendios forestales para el 8 de septiembre de 2015.....	49
Figura 15. Mapa de emisión de PM _{2,5} generado por incendios forestales para el 12 de septiembre de 2015.....	49
Figura 16. Mapa de emisión de PM _{2,5} generado por incendios forestales para el 14 de septiembre de 2015.....	50
Figura 17. Mapa de emisión de PM _{2,5} generado por incendios forestales para el 15 de septiembre de 2015.....	50
Figura 18. Mapa de emisión de PM _{2,5} generado por incendios forestales para el 16 de septiembre de 2015.....	51
Figura 19. Mapa de emisión de PM _{2,5} generado por incendios forestales para el 17 de septiembre de 2015.....	51
Figura 20. Mapa de emisión de PM _{2,5} generado por incendios forestales para el 21 de septiembre de 2015.....	52
Figura 21. Mapa de emisión de PM _{2,5} generado por incendios forestales para el 23 de septiembre de 2015.....	52
Figura 22. Mapa de emisión de PM _{2,5} generado por incendios forestales para el 25 de septiembre de 2015.....	53

Figura 23. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 27 de septiembre de 2015	53
Figura 24. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 28 de septiembre de 2015	54
Figura 25. Imagen satelital con incendios de todo el mes de Septiembre 2015.	55

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los incendios forestales constituyen un tema de interés, entre otros motivos, para la contaminación del aire. Estos eventos no solo generan deforestación y pérdida de biodiversidad, también liberan contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero (Domínguez, 2009). Entre las principales emisiones que genera un incendio forestal están el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), y contaminantes como el monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COVs) y aerosoles (Chaves, 2014).

Septiembre de 2015 es recordado como un mes en el que los incendios forestales fueron frecuentes en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) y sus alrededores. Aproximadamente 1000 ha de bosques, pajonales y matorrales fueron destruidas (Puente, 2015) y la calidad del aire alcanzó niveles de precaución debido al incremento de ozono (O_3) (Secretaría de Comunicación, 2015). El nivel de precaución se determinó por los registros de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ). Este sistema de monitoreo ha estado en funcionamiento continuo desde 2004 y cuenta con 8 estaciones automáticas, localizadas a lo largo de la ciudad de Quito (Figura 1), que miden contaminantes comunes del aire (Secretaría de Ambiente, 2018).

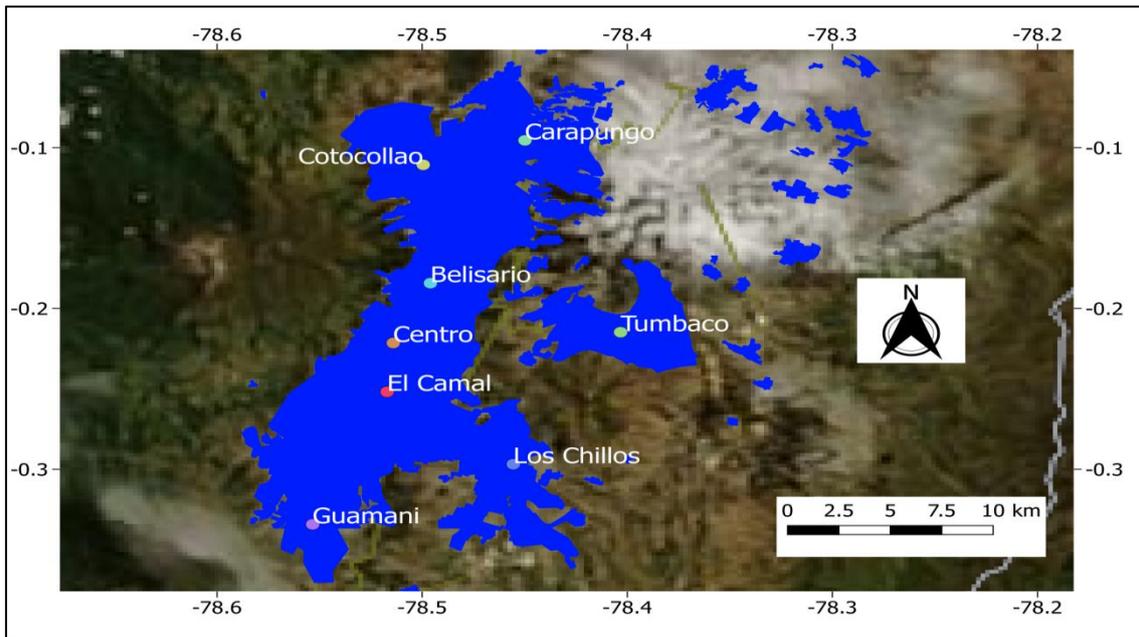


Figura 1. Localización de las estaciones de la REMMAQ en Quito (azul).

De acuerdo con los registros de la REMMAQ, durante septiembre de 2015 se registraron eventos de superación de la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire Ambiente (NCAA) para la concentración máxima de O_3 durante 8 horas (Figura 2).

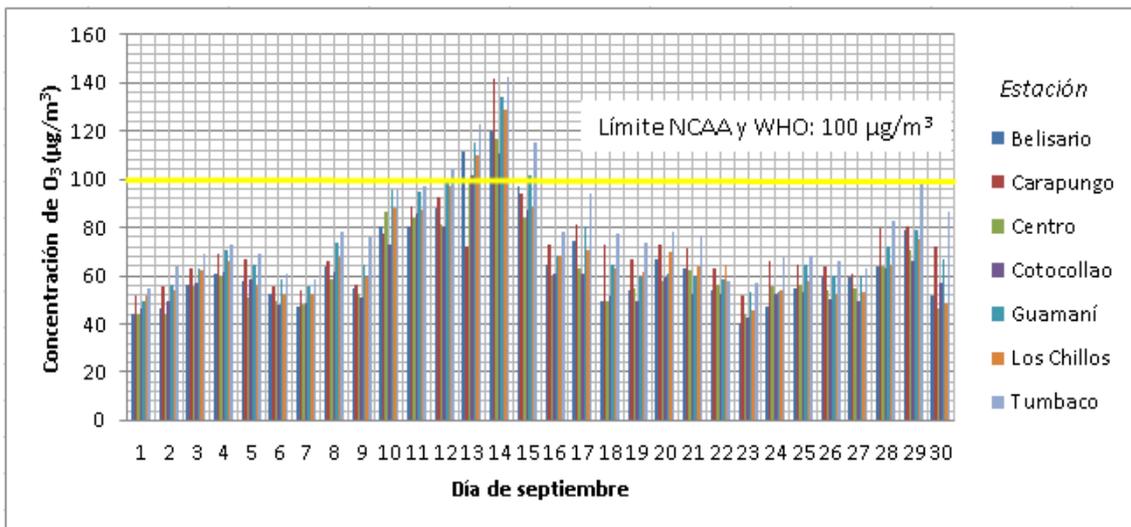


Figura 2. Concentración máxima octohoraria de O_3 medida en las estaciones de la REMMAQ para cada día de septiembre de 2015.

En la figura 2 se observa que el día 14 de septiembre, la concentración de O₃ que establece la NCAA fue superada en todas las estaciones. Éste y los otros eventos de contaminación de septiembre de 2015 se relacionan con un incremento de las emisiones atmosféricas por la generación de incendios forestales, que fueron relevantes en los niveles de contaminación de septiembre de 2015.

1.2 Incendios forestales e inventarios de emisión en Ecuador

Los incendios forestales son fuentes de emisión no permanente (Domínguez, 2009) con un comportamiento irregular y complejo. Para cuantificar su impacto es necesario elaborar el correspondiente inventario de emisiones de contaminantes del aire. La estimación de emisiones por incendios forestales en el DMQ ya se ha realizado anteriormente, aunque solo para períodos anuales. En los inventarios realizados en el DMQ, que tomaron como años base el 2003 (CORPAIRE, 2006), el año 2005 (CORPAIRE, 2008), el 2007 (CORPAIRE, 2009), 2009 (Secretaría de Ambiente, 2011) y 2011 (Secretaría de Ambiente, 2014), se cuantificaron las emisiones de las fuentes móviles, fijas y de área. Estos 5 inventarios incluyen a los incendios forestales dentro de las fuentes de área.

Un ejemplo de inventario realizado en el DMQ específico para un tipo de fuente corresponde al inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el DMQ, con año base 2012 (Vega et al., 2015).

1.3 Incendios forestales y su aporte a la contaminación atmosférica

Los resultados del último inventario de emisiones del DMQ (año base 2011) indican que las emisiones por incendios forestales representaban el 0.2% de las emisiones anuales de PM_{2.5}, el 0.1% de las emisiones anuales de CO y PM₁₀ y no contribuían en las emisiones anuales de SO₂, NO_x y NMVOCs (Secretaría de Ambiente, 2014). El resto de inventarios realizados para el DMQ (año base 2003, 2005, 2007, 2009 y 2011) también obtuvieron valores similares (CORPAIRE, 2006), (CORPAIRE, 2008), (CORPAIRE, 2009), (Secretaría de Ambiente, 2011), (Secretaría de Ambiente, 2014). La contribución de emisiones por incendios forestales a las emisiones totales en inventarios previos se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Contribución de las emisiones por incendios forestales a las emisiones atmosféricas totales en el DMQ, determinadas en inventarios previos

Contaminante	Porcentaje (%) de emisiones por incendios forestales en las emisiones atmosféricas totales				
	2003	2005	2007	2009	2011
CO	0.5	0.1	0	0.7	0.1
SO ₂	NE	0	0	0.1	0
NO _x	0.1	0	0	0.1	0
PM ₁₀	2.5	0.2	0.1	2	0.1
PM _{2.5}	4.4	0.4	0.3	4.6	0.2
NMVOC	0.2	0	0	0.1	0

*NE: No estimado

A pesar de que no presentan un aporte significativo en las emisiones anuales, las emisiones por incendios forestales pueden ser relevantes en eventos de contaminación a corto plazo, tal como sucedió en septiembre del 2015. El estudio de los eventos de contaminación en septiembre de 2015, y específicamente del día 14, es relevante a fin de entender mejor la contribución de los incendios forestales y su

interacción con las emisiones de otras fuentes y con la meteorología en los niveles de contaminación atmosférica. Como paso previo para este tipo de estudio, esta investigación se focaliza en la estimación de las emisiones atmosféricas generadas por incendios forestales en Quito, en septiembre de 2015. Esta estimación pretende ser la base para estudios de mayor alcance, que incluyan el uso de modelos de dispersión de contaminantes del aire.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

Generar un inventario de las emisiones atmosféricas de CO, NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5} y NMVOCs producidas por los incendios forestales de septiembre de 2015, en la malla de emisiones y en el territorio del DMQ.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Generar información base de las emisiones por incendios forestales de septiembre de 2015 para futuros estudios de los eventos de contaminación.
- Comparar las emisiones del 14 de septiembre de 2015 con un día sin incendios forestales.
- Generar emisiones horarias y con resolución espacial adecuada (1 km) para su posterior uso en estudios de dispersión.
- Realizar un análisis de incertidumbre para el inventario
- Proponer criterios para la especiación de las emisiones de NO_x, NMVOCs y PM_{2.5} generados en los incendios, en base a revisión bibliográfica.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Inventario de emisiones atmosféricas

Los inventarios de emisión son instrumentos que proporcionan información sobre la cantidad y tipos de contaminantes que se generan, en una locación y período de tiempo específicos, por las diferentes fuentes de emisión (Casares, 2006) que pueden ser fijas, móviles o de área. Los incendios forestales están considerados dentro de las fuentes de emisión natural o de área, junto a la erosión eólica, las emisiones biogénicas, las emisiones generadas en canteras de materiales de construcción, entre otras (Secretaría de Ambiente, 2014).

2.1.1 Características de los inventarios de emisiones.

Las características de un inventario de emisiones varían dependiendo del uso o fin que se le asigne: político o científico (Tabla 2). Un inventario tiene fines políticos si permite evaluar el cumplimiento de políticas ambientales y convenios internacionales, o tiene fines científicos si su información puede ser usada en un modelo de transporte químico (Ministerio del Ambiente, 2014).

Tabla 2. Características de inventarios de emisión según su objetivo

Inventario con fines políticos	Inventario con fines científicos
<ul style="list-style-type: none"> -Dominio es el territorio limitado por fronteras nacionales -Períodos de cálculo anuales -Requieren uso de un método de cálculo y formato de presentación de resultados definidos 	<ul style="list-style-type: none"> -Dominio debe tener formar rectangular o cuadrada que encierre a la zona de interés -Alta resolución espacial (dominio dividido en celdas de 1km de lado) y temporal (emisiones horarias) -Celdas de emisión deben ser georeferenciadas

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2014).

2.1.2 Enfoques de los inventarios de emisiones.

Los inventarios de emisión pueden desarrollarse usando dos enfoques: el enfoque *top-down* o el enfoque *bottom up*. En el enfoque *top-down*, se calculan todas las emisiones del área de estudio, o dominio del inventario, y luego se desagregan espacialmente entre las celdas que conforman el dominio (Ministerio del Ambiente, 2014). La repartición de las emisiones en las celdas se hace con base en información de la zona o región analizada, como densidad de tránsito, densidad industrial o población (Palacios y Martín, 2002). El enfoque *bottom-up* calcula un valor de emisión para cada celda del dominio, de modo que la emisión total se obtiene sumando los valores de todas las celdas existentes (Ministerio del Ambiente, 2014). Para desarrollar un inventario con este enfoque, se necesita obtener información específica para cada celda: uso de suelo, combustible consumido, tráfico, etc. (Palacios y Martín. 2002).

2.1.3 Técnicas de estimación de emisiones

Las emisiones atmosféricas pueden cuantificarse con diversas técnicas para estimación. Éstas incluyen: muestreo en la fuente, factores de emisión, modelación de

emisiones, encuestas y extrapolación a partir de las emisiones de otra fuente (Sbarato, 2007). La elección de usar una de las técnicas mencionadas dependerá del tipo de fuente analizada en el inventario. Por ejemplo, el muestreo en fuente es usado para fuentes fijas (Radian Corporation, 1996).

2.1.3.1 Estimación de emisiones a partir de factores de emisión

El modelo para la estimación de emisiones usando factores de emisión se presenta en la ecuación 1:

$$E_{i,j} = A_{i,j} \times FE_{i,j}$$

Ecuación 1

En donde:

i: contaminante cuantificado

j: tipo de actividad

$E_{i,j}$: Emisión del contaminante i debido a la actividad j

$A_{i,j}$: Nivel de la actividad j que produce el contaminante i (en este caso, área quemada en ha)

$FE_{i,j}$: Factor de emisión del contaminante i debido a la actividad j (en este caso, kg de contaminante i por ha quemada)

La emisión de contaminante "i" se obtiene como producto de la actividad y el factor de emisión.

Los factores de emisión son valores que relacionan la cantidad emitida de un contaminante con la actividad que produce la emisión (Velasco y Bernabé, 2004). En los inventarios realizados para el DMQ, los factores de emisión se tomaron principalmente de un documento mexicano: "Inventario de emisiones de la zona metropolitana del Valle de México 2000" (SMA, 2005) y de un

documento estadounidense: “National Emission Inventory Data” (US-EPA, 2009). El inventario de emisiones atmosféricas asociadas a tráfico vehicular (Vega et al., 2015) obtuvo los factores de emisión de los documentos “Cálculo de factores de emisión vehicular para el Distrito Metropolitano de Quito en base al análisis estadístico de los registros de la Revisión Técnica Vehicular del año 2012 y una ruta de campo establecida” (Ocaña, 2014) y “Determinación de la línea base de factores de emisiones contaminantes en motores de combustión interna con el combustible de actual venta en el país” (CICCEV et al., 2012).

La actividad puede expresarse en diferentes unidades, como: producción, horas de operación, área superficial, número de empleados (Radian Corporation, 1996).

2.2 Contaminantes

La quema de la biomasa que ocurre durante un incendio forestal emite CO₂, óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos volátiles diferentes del metano como alcanos, alquenos y acetileno (Velasco y Bernabé, 2004). Sin embargo, también hay que considerar compuestos que son producto de la combustión incompleta. Los compuestos analizados en este inventario se mencionan a continuación.

2.2.1 Monóxido de carbono (CO).

Es un gas que no presenta color ni olor y que se genera como producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles (Gallego et al., 2012) o durante la

quema de biomasa (Ruiz, 2004). Este contaminante es, junto con el CO₂, el principal compuesto liberado durante un incendio forestal (Chaves, 2014).

2.2.2 Óxidos de nitrógeno (NO_x).

Este término engloba al monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) (Mebust et al., 2011). Se generan a 1 800 K, la temperatura alcanzada en las etapas iniciales de los incendios forestales (Chacón, 2015). El NO₂ tiene características corrosivas e irritantes, pero los NO_x en conjunto son compuestos de interés por ser precursores de ácido nítrico y O₃ (Gallego et al., 2012).

2.2.3 Material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}).

Los procesos de quema de biomasa no solo emiten grandes cantidades de gases, también emiten partículas a la atmósfera (Ruiz, 2004). Estas partículas, o material particulado PM, pueden estar en fase sólida o líquida y pueden ser de hollín, polvo, aerosoles, arena, etc. (Gallego et al., 2012). El PM se clasifica en fracción fina y fracción gruesa según el diámetro de sus partículas. Se denomina PM₁₀ o fracción gruesa a las partículas con diámetro inferior a 10 µm mientras que la fracción fina o PM_{2.5} corresponde a partículas de un diámetro inferior a 2.5 µm, siendo ésta última considerada la fracción más perjudicial debido a su capacidad de penetrar los alveolos pulmonares (Gallego et al., 2012).

2.2.4 Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (NMVOCs).

Junto a los NO_x y al CO, los NMVOCs se consideran precursores de O₃ en la troposfera (Ruiz, 2004). En otras palabras, el O₃ es un contaminante secundario que se genera a partir de estos compuestos. Los NMVOCs son emitidos a la atmósfera y

reaccionan químicamente junto con el CO y los NO_x, usando la luz solar como fuente de energía (Baird, 2004).

2.2.5 Dióxido de azufre (SO₂).

Gas de olor fuerte, con características irritantes (Gallego et al., 2012). Los incendios forestales producen una cantidad muy pequeña de este compuesto (Ruiz, 2004).

2.3 Especiación

Algunos de los contaminantes del aire mencionados anteriormente pueden ser desagregados en más categorías. Los NO_x incluyen al NO y al NO₂, mientras que los NMVOC engloban a muchos tipos de compuestos orgánicos (Casares, 2006). La definición de especiación es el proceso de dividir en categorías o grupos los contaminantes cuantificados en inventarios de emisiones (Puliafito et al., 2009). La especiación puede realizarse usando diferentes criterios. El PM puede ser especiado por el tamaño de sus partículas y también por la composición química de las mismas (Doria y Fagundo, 2016). También existen programas de software usados para especiación. Un ejemplo de esto es el modelo COPERT, que especia emisiones de COVs provenientes de vehículos (Puliafito et al., 2009).

2.4 Análisis de incertidumbre

Los inventarios de emisión se construyen con información sobre el nivel de actividad y factores de emisión. El grado al que estos dos componentes representan la

realidad del lugar y período analizado afecta a la calidad del inventario (Cruz et al., 2013). La calidad de los resultados puede determinarse a través de un análisis de incertidumbre. Este análisis tiene como objetivo caracterizar la variabilidad de los resultados obtenidos e identificar aspectos débiles en el trabajo realizado (Ministerio del Ambiente, 2014).

La estimación de la incertidumbre se ve limitada cuando la información para construir el inventario es escasa (CORPAIRE, 2006). Es recomendable realizar el análisis de incertidumbre usando métodos cuantitativos, sin embargo, si la información disponible es limitada, entonces se pueden aplicar métodos semicuantitativos o cualitativos para el análisis de incertidumbre (US-EPA, 1996). Por tanto, se analizará la incertidumbre del presente inventario usando una variación del método Data Attribute Rating System (DARS) de la US-EPA. (1996). Este método ya ha sido usado para evaluar otros inventarios del DMQ (CORPAIRE, 2006), (CORPAIRE, 2008), (CORPAIRE, 2009), (Secretaría de Ambiente, 2011), (Secretaría de Ambiente, 2014), (Vega et al., 2015).

El método consiste en considerar la especificidad, congruencia espacial y temporal de los factores de emisión y de la información de la actividad, para así asignar una calificación alfabética (US-EPA, 1996). Los criterios para calificar la actividad y los factores de emisión se muestran en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Sistema de calificación de la actividad.

Calificación	Calidad	Descripción
A	Muy alta	La información proviene de estimaciones bien documentadas; tales como estadísticas nacionales (oficiales). Los datos de actividad representan el proceso de emisión, son específicos de la región geográfica y para el período temporal del inventario
B	Alta	La información es diversa e intermitente, proviene de una actualización de las estadísticas y factores de crecimiento de años previos. Los datos provienen de la actividad de un proceso similar que se correlacionan en gran medida a la categoría o proceso en estudio. La información presenta una moderada variabilidad espacial y temporal.
C	Media	La información proviene de indicadores o sustitutos asociados con la actividad original. Los datos de actividad se correlacionan poco con la categoría o proceso en estudio. La variabilidad espacial y temporal de la información es entre moderada y alta.
D	Baja	La información proviene de estimaciones. La tasa de actividad se deriva de los principios de ingeniería o de especificaciones de diseño. Los datos de actividad representan una categoría de fuente sustituta con información limitada. La variabilidad espacial y temporal es alta.
E	Muy baja	La información proviene de estimaciones generales, realizadas con criterio técnico. Los datos de actividad provienen de una categoría de fuente sustituta y se aplica a través de la opinión de expertos.

Fuente: (CORPAIRE, 2006)

Tabla 4. Sistema de calificación de los factores de emisión.

Calificación	Calidad	Descripción
A	Muy alta	El factor de emisión se desarrolla a partir de mediciones continuas realizadas en muchas instalaciones de un mismo tipo de fuente. La variabilidad espacial y temporal es específica para el período del inventario
B	Alta	El factor de emisión se obtiene a partir de un número representativo de instalaciones para una categoría relacionada a la categoría objetivo. La variabilidad espacial y temporal del factor de emisión es moderada.
C	Media	El factor de emisión se obtiene a partir de un número no representativo de instalaciones. El factor de emisión se basa en el perfil de especiación aplicado a la medición de otros contaminantes. La variabilidad espacial y temporal del factor de emisión es de moderada a alta.
D	Baja	El factor de emisión es derivado de los balances de materia o de principios conocidos; o para una categoría sustituta con información limitada. La variabilidad espacial y temporal del factor es alta.
E	Muy baja	El factor de emisión está disponible solo para un pequeño número de instalaciones de fuentes relacionadas. El factor de emisión se basa en la opinión de expertos.

Fuente: (CORPAIRE, 2006)

La combinación de las valoraciones individuales permite obtener una matriz de calificación de estimación de emisiones. Esa matriz se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Matriz de calificación de las estimaciones de las emisiones.

Actividad	Factor de emisión				
	A	B	C	D	E
A	A	A	B	C	C
B	A	B	B	C	D
C	B	B	C	C	D
D	C	C	C	D	D
E	C	D	D	D	E

Fuente: (CORPAIRE, 2006)

Las calificaciones alfabéticas del inventario indican que su calidad es:

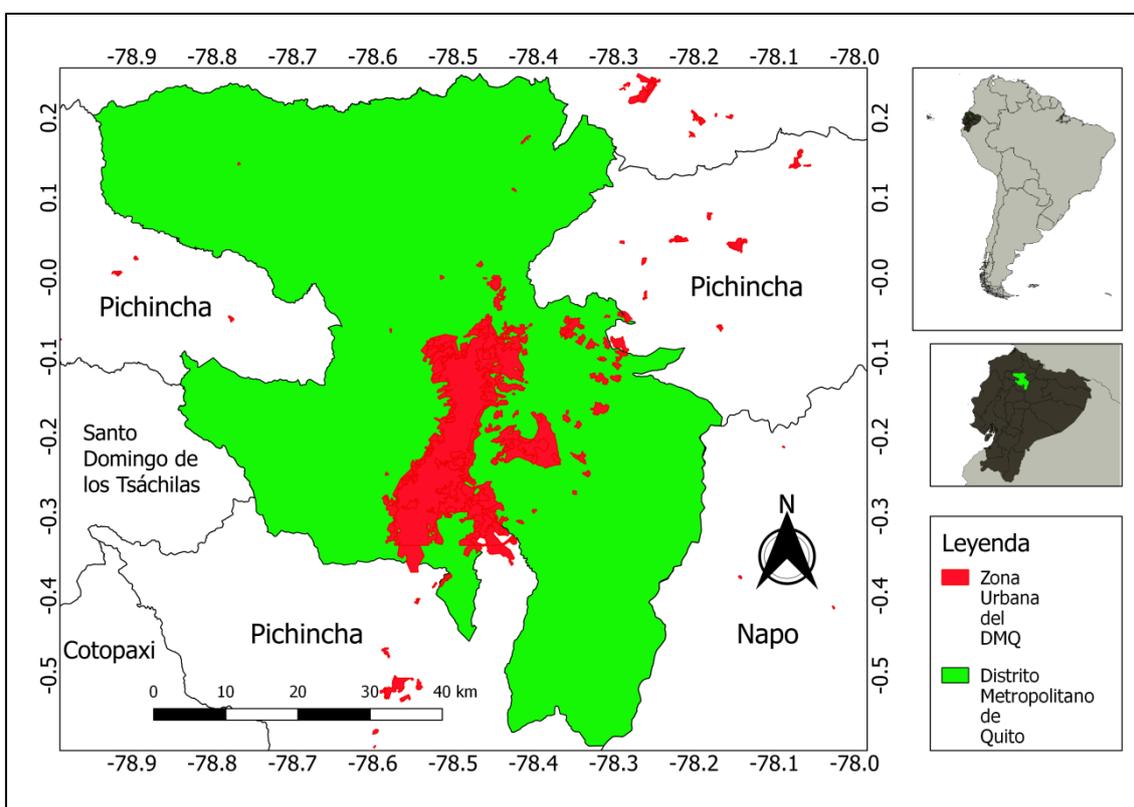
- **Categoría A:** calidad muy alta. Indica que la estimación es bastante fiable, la estimación es suficiente para éste y futuros inventarios.

- **Categoría B:** calidad alta. La estimación es fiable, pero se pueden tomar acciones para disminuir su incertidumbre.
- **Categoría C:** calidad media. La estimación es medianamente fiable y podría ser mejorada.
- **Categoría D:** calidad baja. La estimación es poco fiable y se recomienda mejorarla.
- **Categoría E:** calidad muy baja. La estimación es muy poco fiable y debe ser mejorada.

3. MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Área de estudio

El inventario se realizó para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), ubicado en la provincia de Pichincha al norte del Ecuador con una extensión de 4 211 km² (Figura 3). En el año 2015, el DMQ contaba con 2 551 721 habitantes, aproximadamente (INEN, 2013). La zona urbana de Quito se encuentra a 2 850 msnm y tiene una topografía compleja que condiciona el comportamiento de la atmósfera (Gordón, 2012).



3.2 Características del inventario

El dominio del inventario de emisiones es una malla cuadrada que cubre al DMQ y sus alrededores. Las dimensiones de la malla son de 120 celdas x 120 celdas cuadradas, que tienen 1 km de lado.

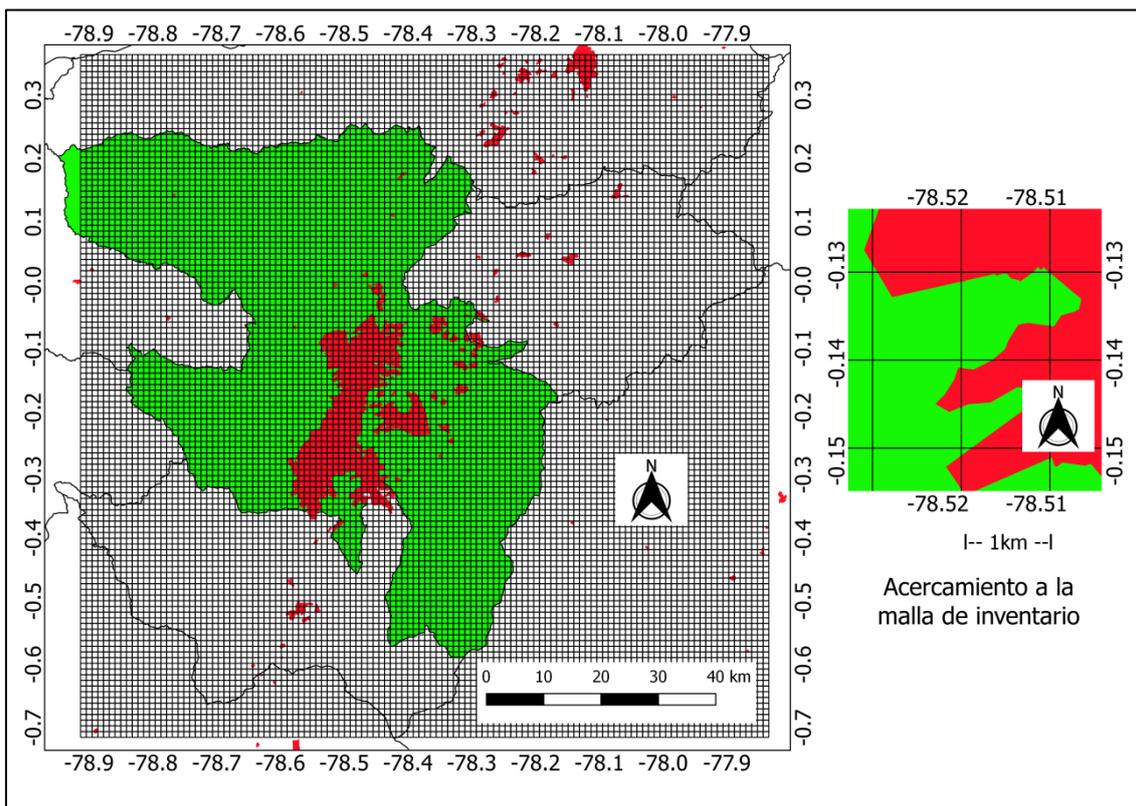


Figura 4. Malla del inventario de emisiones compuesta por 120 celdas horizontales y verticales, cada una de 1 km² de área.

La elección de usar un dominio cuadrado se debe a que éste es un inventario con fines científicos. Se usa esta malla en particular porque es la malla usada en los trabajos de investigación de la Universidad San Francisco de Quito. Con esta malla se realizó la simulación numérica de dispersión de CO en la zona urbana de Quito (Parra, 2017) y se construyó el inventario de emisiones del DMQ asociadas a tráfico vehicular, realizado por Vega et al. (2015). El inventario se desarrolló con enfoque *bottom-up*, lo

que significa calcular las emisiones para cada celda individual del dominio usando información específica y luego sumar las emisiones de todas las celdas.

Como ya se indicó anteriormente, el periodo de análisis corresponde a septiembre de 2015, mes en el que se presentaron varios incendios forestales en el DMQ que generaron eventos relevantes de contaminación. Por tanto, la información usada para construir el inventario (imágenes satelitales, datos del Cuerpo de Bomberos del DMQ, notas de prensa, archivo *shapefile* de zonas quemadas proporcionado por la Secretaría de Ambiente) corresponde a septiembre de 2015.

3.3 Cálculo de emisiones

3.3.1 Modelo de emisiones.

Las emisiones por incendios forestales se cuantifican utilizando el siguiente modelo:

$$E_i = A \times FE_i$$

Ecuación 2

En donde:

E_i : Emisiones del contaminante i (kg d^{-1})

A : Actividad. En este caso, se reemplaza por Área quemada ($\text{km}^2 \text{d}^{-1}$)

FE_i : Factor de emisión del contaminante i (kg ha^{-1})

Antes de realizar el cálculo, se multiplicó el valor de área quemada por 100. Este número es el factor de conversión de km^2 a ha ($1 \text{ km}^2 = 100 \text{ ha}$).

3.3.2 Área quemada.

El área quemada se determina con estimaciones realizadas mediante la compilación de datos que provienen de 3 fuentes diferentes.

3.3.2.1 Información del Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito (CBDMQ).

El CBDMQ proporcionó información de la cantidad de ha afectadas por incendios forestales para cada día de septiembre de 2015 (Tabla 6).

Tabla 6. Información de incendios forestales proporcionada por el CBDMQ

Fecha	Área quemada (ha)
01/09/2015	403.2
02/09/2015	3.7
03/09/2015	7.2
04/09/2015	379
05/09/2015	8.3
06/09/2015	732.2
07/09/2015	14.5
08/09/2015	58.8
09/09/2015	14.1
10/09/2015	79.4
11/09/2015	8
12/09/2015	101.8
13/09/2015	157.2
14/09/2015	138.5
15/09/2015	296.5
16/09/2015	18.2
17/09/2015	7.5
18/09/2015	2.2
19/09/2015	4.1
20/09/2015	1.1
21/09/2015	1.2
22/09/2015	6.7
23/09/2015	6
24/09/2015	9.5
25/09/2015	22.6
26/09/2015	4.1
27/09/2015	18.7
28/09/2015	15.2
29/09/2015	2.8
30/09/2015	0.3

3.3.2.2 Información de imágenes satelitales.

Se descargaron imágenes satelitales desde la plataforma del Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer “MODIS” de la NASA (NASA, 2018). Este sensor está colocado en los satélites: 1) Terra, que pasa sobre el Ecuador a las 10h30 (hora local), y 2) Aqua, que lo hace a las 13h30 (hora local). Las figuras 5 y 6 muestran las imágenes tomadas por los satélites Terra y Aqua para el 1 de septiembre de 2015. Las imágenes de las figuras 7 y 8 fueron registradas para el 14 de septiembre de 2015.

MODIS es un sensor remoto, lo que significa que es un instrumento que realiza mediciones sin estar en contacto directo con el objeto que analiza. Los satélites que contienen el sensor MODIS detectan incendios forestales mediante la identificación de cambios abruptos de temperatura en la superficie terrestre sobre la que están pasando. Cuando un cambio así es detectado, los señalan con puntos rojos. Esto se puede ver en las figuras 6, 7 y 8.

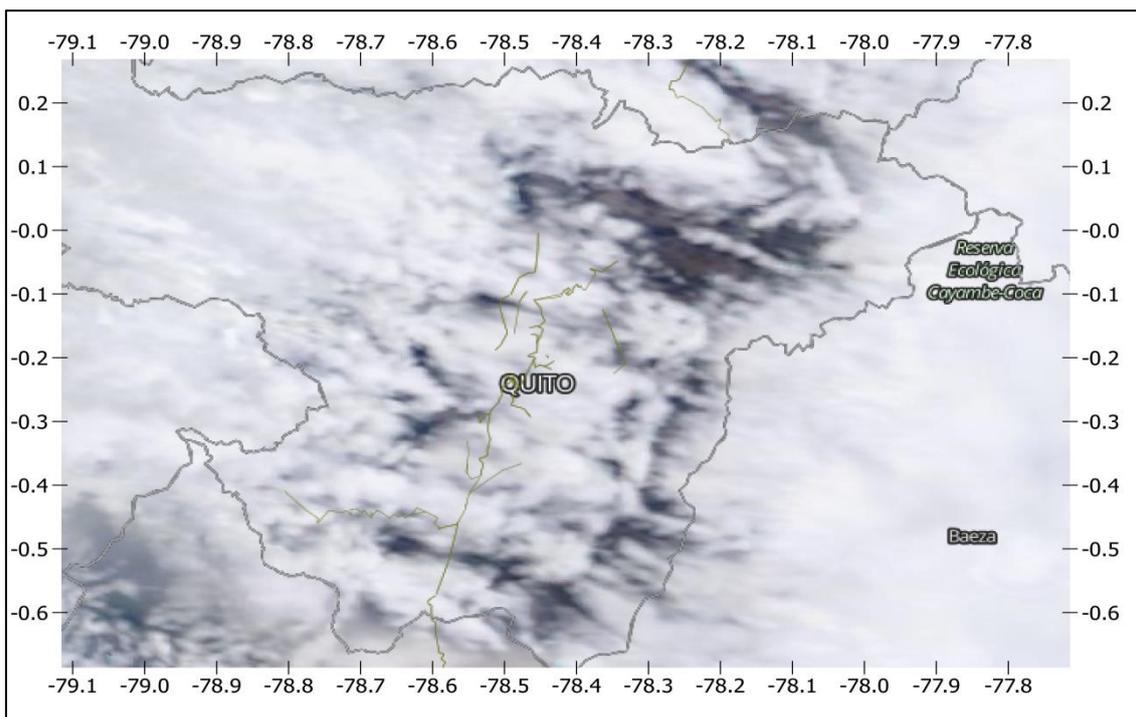


Figura 5. Imagen de la zona de estudio registrada por el satélite Terra a las 10h30 del 1 de septiembre de 2015.

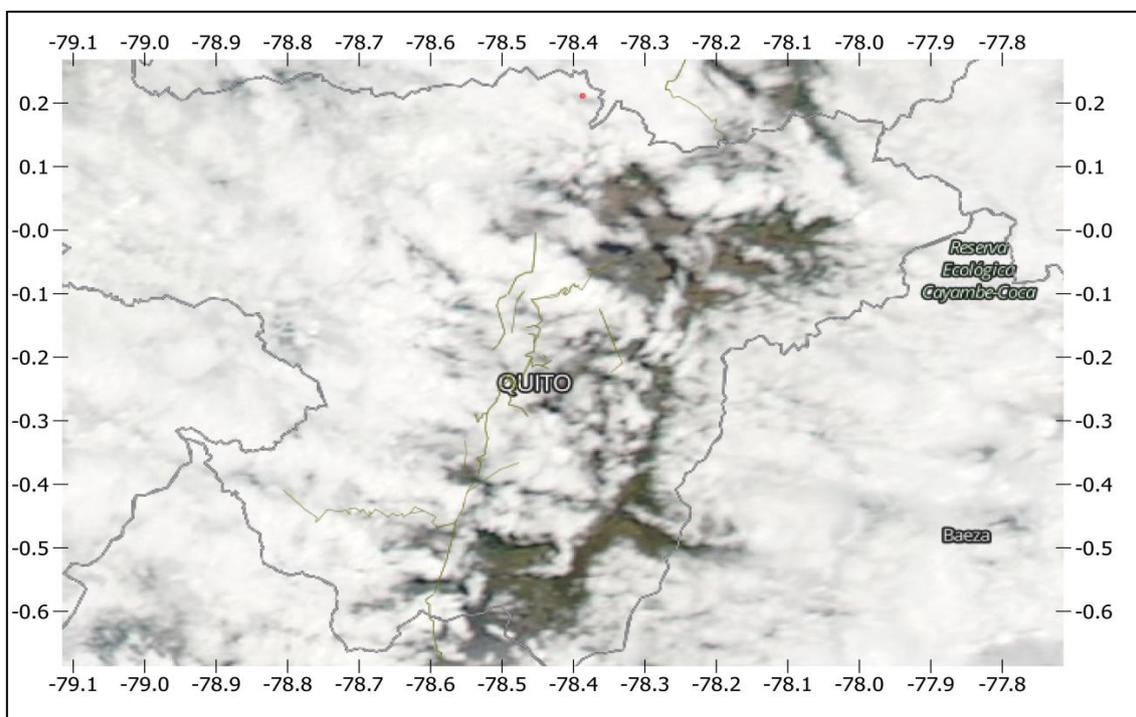


Figura 6. Imagen de la zona de estudio registrada por el satélite Aqua a las 13h30 del 1 de septiembre de 2015.

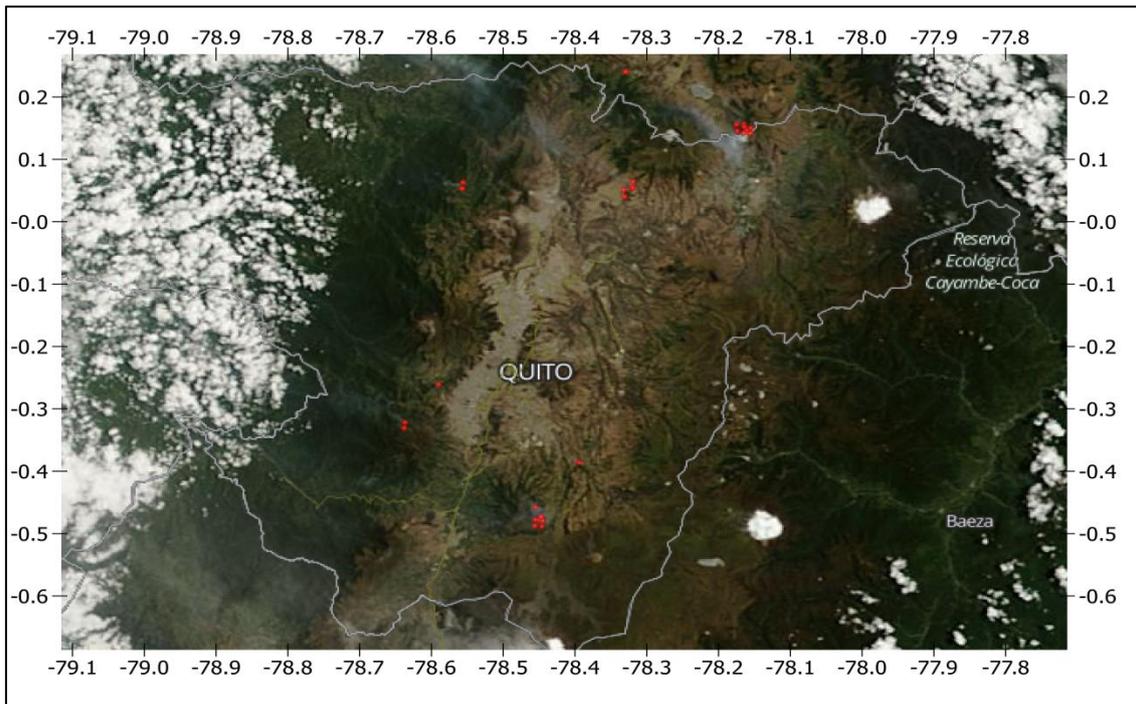


Figura 7. Imagen de la zona de estudio registrada por el satélite Terra a las 10h30 del 14 de septiembre de 2015.

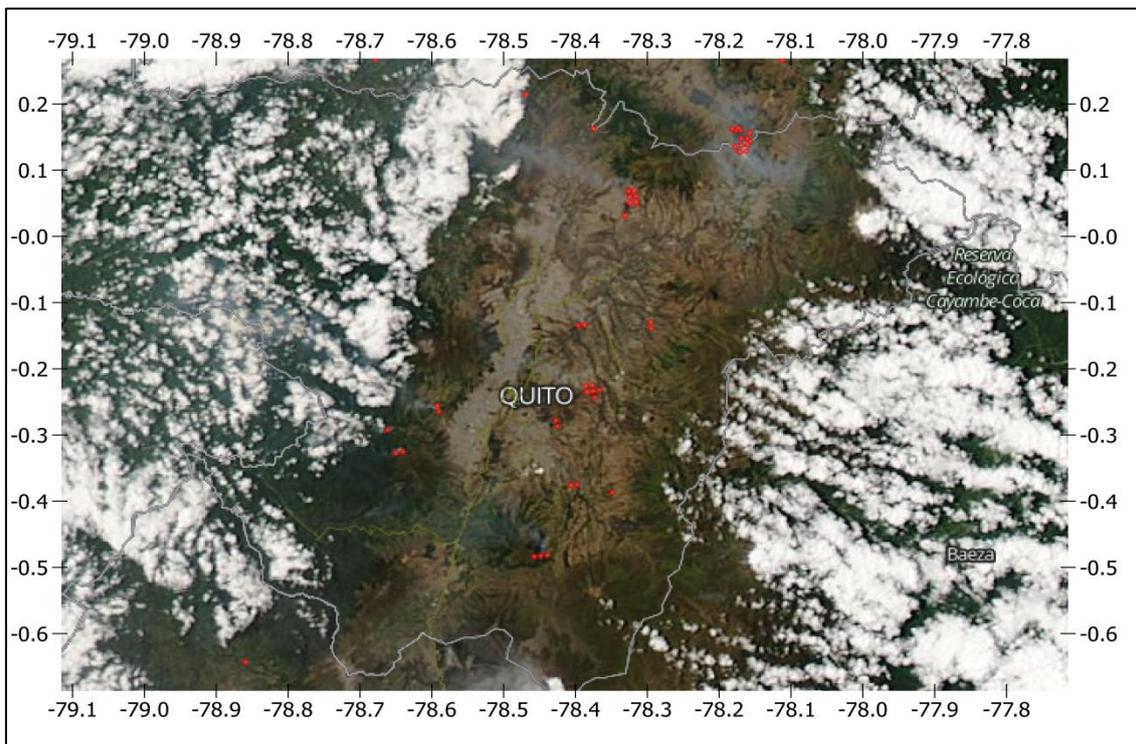


Figura 8. Imagen de la zona de estudio registrada por el satélite Aqua a las 13h30 del 14 de septiembre de 2015.

Después de revisar las imágenes satelitales del DMQ, se identificó la presencia o ausencia de incendios en cada día de septiembre de 2015 (Tabla 7).

Tabla 7. Días de septiembre 2015 con presencia (✓) o ausencia (✗) de incendios forestales según información satelital de MODIS

Fecha	Satélite Terra	Satélite Aqua	Presencia de incendio
01/09/2015	✗	✓	Sí
02/09/2015	✗	✗	No
03/09/2015	✗	✗	No
04/09/2015	✗	✗	No
05/09/2015	✗	✓	Sí
06/09/2015	✗	✗	No
07/09/2015	✗	✓	Sí
08/09/2015	✗	✓	Sí
09/09/2015	✗	✗	No
10/09/2015	✗	✗	No
11/09/2015	✗	✗	No
12/09/2015	✗	✓	Sí
13/09/2015	✗	✗	No
14/09/2015	✓	✓	Sí
15/09/2015	✓	✓	Sí
16/09/2015	✓	✓	Sí
17/09/2015	✓	✓	Sí
18/09/2015	✗	✗	No
19/09/2015	✗	✗	No
20/09/2015	✗	✗	No
21/09/2015	✓	✗	Sí
22/09/2015	✗	✗	No
23/09/2015	✓	✗	Sí
24/09/2015	✗	✗	No
25/09/2015	✗	✓	Sí
26/09/2015	✗	✗	No
27/09/2015	✓	✗	Sí
28/09/2015	✓	✓	Sí
29/09/2015	✗	✗	No
30/09/2015	✗	✗	No

Se determinó que hubo incendios forestales ese día si al menos una de las imágenes, ya sea del satélite Terra o Aqua, indica puntos rojos.

El procedimiento para estimar el área quemada a partir de las imágenes satelitales fue el siguiente: la malla del inventario se colocó sobre la imagen satelital respectiva usando el sistema de información geográfico QGIS (Figura 9), se localizaron los puntos rojos en las celdas de la malla (Figura 10) y se determinó, mediante un factor de 0 a 1, cuánto de la celda ocupaba cada punto rojo. Asignar un 0 significa que el punto rojo no está en la celda. Asignar un 1 implica que el punto rojo ocupa toda la celda.

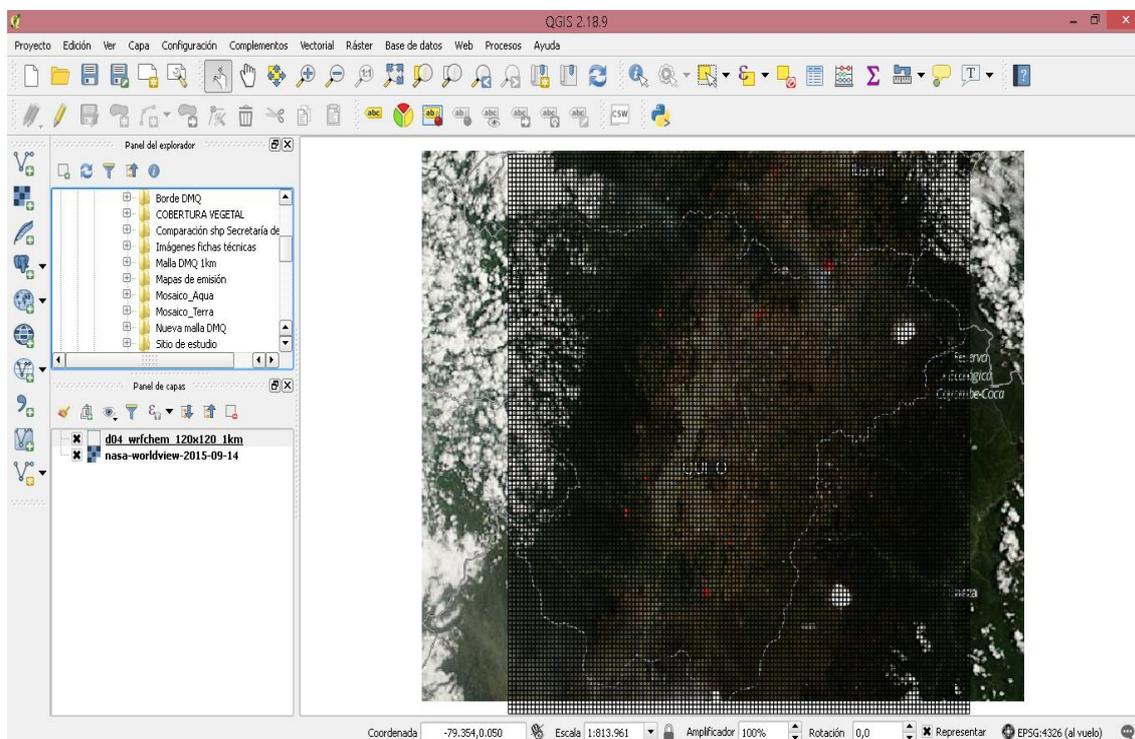


Figura 9. Malla de inventario colocada sobre la imagen satelital del 14 de Septiembre de 2015 registrada por el satélite Terra.

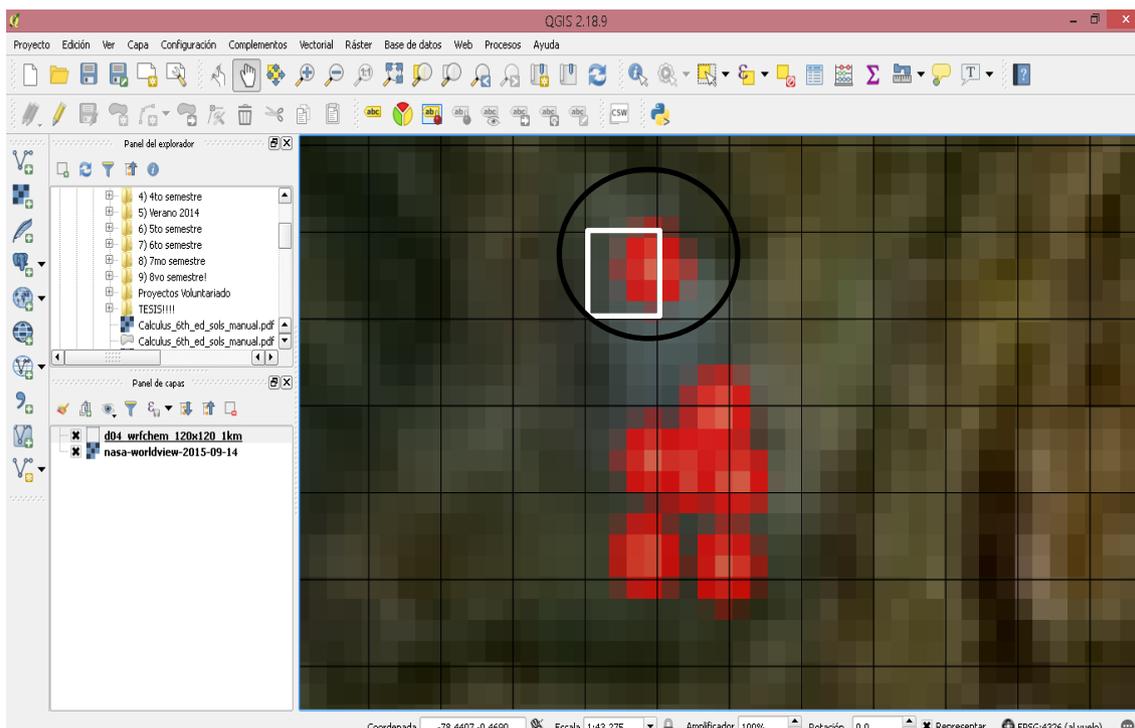


Figura 10. Ejemplo de localización de incendios en celdas del inventario.

La asignación del factor para cada celda se puede explicar usando la figura 10.

El punto rojo, o incendio, encerrado en el círculo ocupa 4 celdas, incluyendo la que está señalada por el recuadro blanco. El incendio ocupa la mitad de la celda de borde blanco. Por tanto, a la celda señalada se le asigna un factor de 0.5.

El factor asignado se multiplicó por el área de la celda: 1 km^2 , para obtener un valor de área quemada.

Esta información es la más fiable, y la información del CBDMQ se usó como complementaria.

3.3.2.3 Información de prensa.

De la prensa local y nacional, se recopilaron notas relacionadas con los incendios forestales de septiembre de 2015. La información recopilada sobre el

área quemada, lugar, fecha y extensión del incendio se usó para respaldar y/o comprobar la información obtenida del CBDMQ y de las imágenes satelitales.

La información de las imágenes satelitales, del CBDMQ y de la prensa fue consolidada por día, mediante una ficha diseñada para el efecto que sustenta la propuesta del probable horario de incendio.

3.3.3 Factores de emisión.

Se asignaron los factores de emisión para cada celda del dominio según la información del tipo de vegetación de cada celda. La información del tipo de vegetación se obtuvo de dos mapas de uso de suelo:

- 1) Mapa de usos de suelo del DMQ, proporcionado por la Secretaría de Ambiente.
- 2) Mapa de usos de suelo a nivel nacional del MAGAP.

El mapa de usos de suelo del DMQ, permitió categorizar cada celda según las categorías: “Vegetación natural”, “Bosques y áreas seminaturales” y “Áreas cultivadas” según corresponda. Sin embargo, este mapa no proporcionó información sobre la vegetación para todas las áreas quemadas.

El mapa de uso de suelo del Ecuador, obtenido del MAGAP, se usó para complementar la información sobre vegetación obtenida del mapa de usos de suelo del DMQ. Las celdas encontradas en categorías de: Agrícola, Agrícola-Conservación y Protección, Agropecuario forestal, Agropecuario Mixto, Pecuario, Pecuario – Conservación y Protección, y Antrópico, se consideraron como área cultivada. Por otro

lado, las categorías de: Conservación y protección, Forestal, y Tierras improductivas se consideraron Vegetación natural.

Los factores de emisión de NO_x , CO , SO_2 , NMVOC , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ se obtuvieron de Wiedinmyer et al. (2011). A las celdas categorizadas como "Vegetación natural" se les asignaron los factores de *Temperate Mixed Forest*, mientras que a las celdas de "Áreas cultivadas" les fueron asignados los factores de *Open Shrubland*. En la investigación de Wiedinmyer et al. (2011), los factores de emisión tienen unidades de g kg^{-1} de biomasa quemada. Sin embargo, el mismo artículo provee de datos de *fuel loading*, o biomasa que podría quemarse, que están en unidades de g biomasa m^{-2} . Los datos de *fuel loading* están dados por continente y por tipo de ecosistema. De modo que se eligieron los valores para *Temperate forest* ($7\ 400\ \text{g biomasa m}^{-2}$) y *Woody savanna/shrubland* ($3\ 077\ \text{g biomasa m}^{-2}$) que pertenecían a la zona de Sudamérica. Se multiplicaron los factores de emisión, los *fuel loading* y los factores de conversión correspondientes para llegar al factor de emisión en las unidades deseadas.

Los factores de emisión seleccionados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Factores de emisión usados en el inventario (Wiedinmyer et al., 2011)

Contaminante	Factor de emisión (kg ha ⁻¹)	
	Vegetación natural	Áreas cultivadas
NO _x (como NO)	96	120
CO	7 548	2 092
SO ₂	74	21
NM VOC (NMHC)	422	105
PM ₁₀ (TPM)	1 258	474
PM _{2.5}	962	286

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fichas técnicas construidas

En esta sección, se indican las fichas del 1 y el 14 de septiembre de 2015 (Tablas 9 y 10). Las fichas del resto de días se incluyen en el Anexo 1.

Tabla 9. Ficha técnica con información de incendios forestales correspondiente al 1 de septiembre de 2015

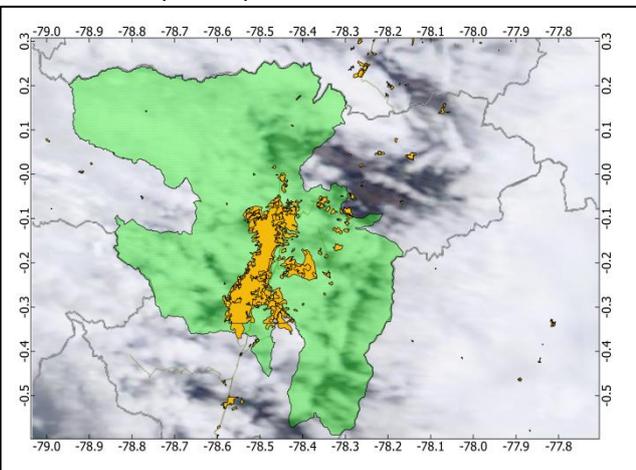
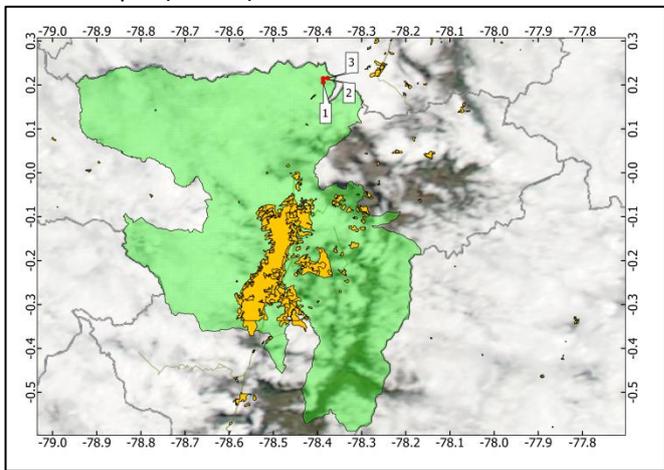
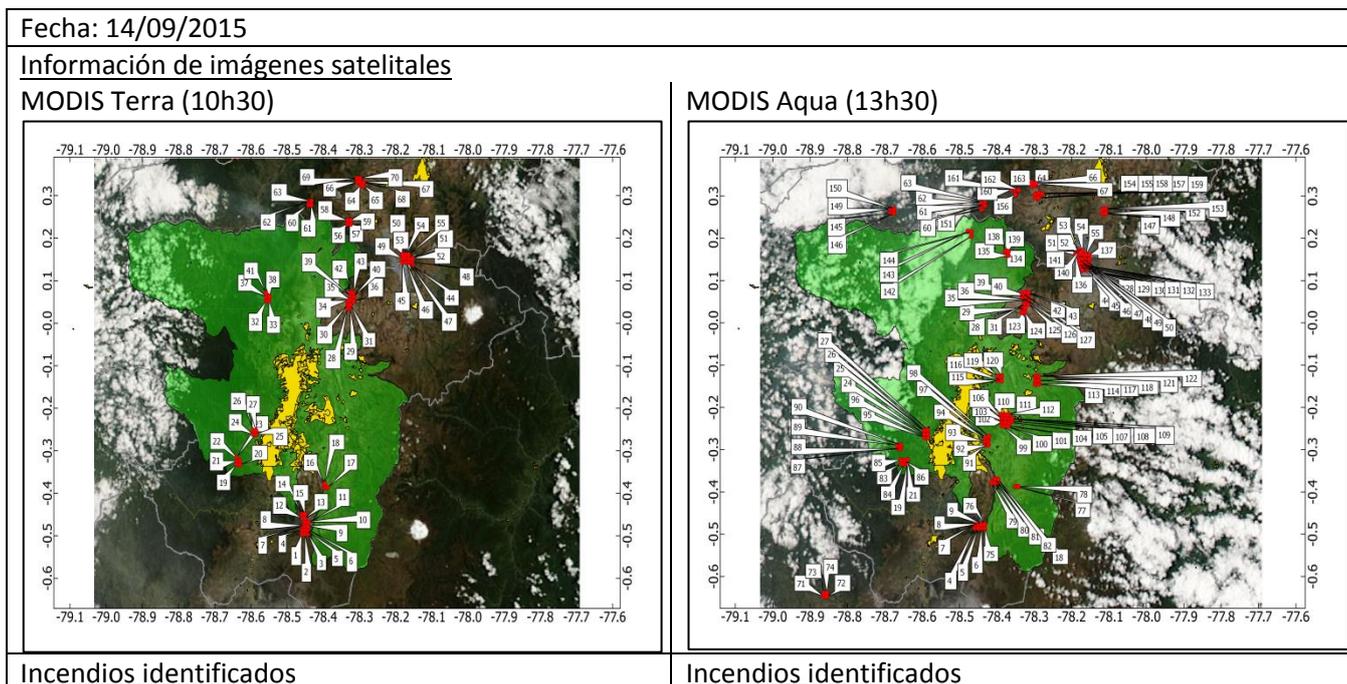
Fecha: 01/09/2015							
<u>Información de imágenes satelitales</u>							
MODIS Terra (10h30)				MODIS Aqua (13h30)			
							
<u>Incendios identificados</u>				<u>Incendios identificados</u>			
Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación	Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
				1	12299	0.20628, -78.38734	San José de Minas
				2	12419	0.21527, -78.38715	Minas
				3	12420	0.21583, -78.37823	
<u>Información del Cuerpo de Bomberos</u>							
Superficie afectada: 403.2 ha							
<u>Información de prensa</u>							
Se detecta un incendio en el cerro Mirador, en San José de Minas. A las 16H28, todavía no podía ser controlado (El Comercio, 1 de septiembre 2015).							
<u>Conclusión</u>							
La estimación a partir de las imágenes satelitales indica un total de 106 ha afectadas. El Cuerpo de Bomberos indica 403.2 ha.							
Horario probable de incendio en la mañana Ninguno				Horario probable de incendio en la tarde Puntos 1 al 3: 12h00 – 17h00			

Tabla 10. Ficha técnica con información de incendios forestales correspondiente al 14 de septiembre de 2015



Incendios identificados

Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación	Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
1	2931	-0.4956, -78.4592	Pasochoa	71	846	-0.6477, -78.8640	Sigchos
2	2932	-0.4951, -78.4497		72	847	-0.6478, -78.8547	
3	2933	-0.4950, -78.4409		73	966	-0.6390, -78.8634	
4	3051	-0.4862, -78.4586		74	967	-0.6392, -78.8551	
5	3052	-0.4867, -78.4493		75	3054	-0.4854, -78.4321	Pasochoa
6	3053	-0.4861, -78.4413		76	3174	-0.4771, -78.4324	Pintag
7	3171	-0.4772, -78.4588		77	4383	-0.3868, -78.3509	
8	3172	-0.4772, -78.4502		78	4384	-0.3871, -78.3423	Pintag
9	3173	-0.4772, -78.4408		79	4496	-0.3777, -78.4143	
10	3292	-0.4691, -78.4489		80	4497	-0.3776, -78.4053	Pintag
11	3293	-0.4686, -78.4411		81	4617	-0.3692, -78.4051	
12	3411	-0.4599, -78.4573		82	4618	-0.3689, -78.3962	Norte del Cerro Atacazo
13	3412	-0.4593, -78.4498		83	5069	-0.3332, -78.6567	
14	3531	-0.4510, -78.4583		84	5070	-0.3334, -78.6477	
15	3532	-0.4503, -78.4505		85	5189	-0.3245, -78.6571	
16	4378	-0.3871, -78.3959	Pintag	86	5190	-0.3242, -78.6473	Norte del Cerro Atacazo
17	4379	-0.3873, -78.3872		87	5548	-0.2970, -78.6664	
18	4498	-0.3782, -78.3964	Norte del Cerro Atacazo	88	5549	-0.2971, -78.6569	
19	5071	-0.3322, -78.6384		89	5668	-0.2882, -78.6661	
20	5072	-0.3327, -78.6302		90	5669	-0.2879, -78.6567	
21	5191	-0.3234, -78.6381		91	5694	-0.2881, -78.4317	
22	5192	-0.3235, -78.6300					
23	5311	-0.3148, -78.6389					

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación	Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación	
24	6036	-0.2612, -78.5939	Lloa	92	5695	-0.2877, -78.4236	Sur de Lumbisí	
25	6037	-0.2613, -78.5851		93	5814	-0.2792, -78.4317		
26	6156	-0.2529, -78.5943		94	5815	-0.2790, -78.4234		
27	6157	-0.2529, -78.5853		97	5934	-0.2700, -78.4315		
				98	5935	-0.2701, -78.4227		
28	10025	0.0357, -78.3333	Malchinguí	95	5916	-0.2702, -78.5941	Lloa	
29	10026	0.0354, -78.3246		96	5917	-0.2702, -78.5852		
30	10145	0.0445, -78.3328		99	6299	-0.2425, -78.3867	Tumbaco	
31	10146	0.0443, -78.3247		100	6300	-0.2421, -78.3785		
34	10265	0.0525, -78.3324		101	6301	-0.2429, -78.3695		
35	10266	0.0533, -78.3244		102	6419	-0.2338, -78.3861		
36	10267	0.0534, -78.3153		103	6420	-0.2340, -78.3777		
39	10386	0.0623, -78.3242		104	6421	-0.2341, -78.3686		
40	10387	0.0624, -78.3157		105	6422	-0.2339, -78.3601		
42	10506	0.0714, -78.3243		106	6539	-0.2262, -78.3866		
43	10507	0.0717, -78.3153	107	6540	-0.2251, -78.3777			
32	10240	0.0536, -78.5577	Pululahua	108	6541	-0.2250, -78.3686		Sur del Quinche
33	10241	0.0540, -78.5493		109	6542	-0.2248, -78.3601		
37	10360	0.0621, -78.5572		110	6659	-0.2163, -78.3869		
38	10361	0.0626, -78.5493		111	6660	-0.2166, -78.3780		
41	10480	0.0712, -78.5577		112	6661	-0.2162, -78.3687		
44	11365	0.1343, -78.1541		113	7629	-0.1445, -78.2971	Cocotog	
45	11482	0.1434, -78.1807		114	7630	-0.1450, -78.2885		
46	11483	0.1432, -78.1719		117	7749	-0.1356, -78.2966		
47	11484	0.1438, -78.1630		118	7750	-0.1352, -78.2884		
48	11485	0.1434, -78.1539		Pijal	121	7869		
49	11602	0.1525, -78.1805	122		7870	-0.1273, -78.2881		
50	11603	0.1528, -78.1720	115		7738	-0.1353, -78.3962		
51	11604	0.1528, -78.1626	116		7739	-0.1348, -78.3873		
52	11605	0.1523, -78.1538	Sector Tangalí	119	7858	-0.1263, -78.3963	Cocotog	
53	11722	0.1616, -78.1805		120	7859	-0.1268, -78.3873		
54	11723	0.1614, -78.1721		123	9905	0.0265, -78.3331	Malchinguí	
55	11724	0.1614, -78.1622		124	9906	0.0261, -78.3243		
56	12665	0.2330, -78.3331		125	10147	0.0440, -78.3152		
57	12666	0.2335, -78.3238		126	10385	0.0624, -78.3331		
58	12785	0.2416, -78.3329		127	10505	0.0715, -78.3332		
59	12786	0.2416, -78.3239		Oeste de la Laguna de Cuicocha	128	11243	0.1258, -78.1713	Pijal
60	13253	0.2785, -78.4408			129	11244	0.1261, -78.1623	
61	13254	0.2786, -78.4324			130	11245	0.1260, -78.1539	
62	13373	0.2867, -78.4406	131		11362	0.1349, -78.1796		
63	13374	0.2868, -78.4322	132		11363	0.1348, -78.1710		
64	13869	0.3232, -78.2978	Noreste de la laguna de	133	11364	0.1348, -78.1625	Pijal	
65	13870	0.3235, -78.2891		136	11721	0.1608, -78.1892		
66	13988	0.3324, -78.3062		137	11725	0.1608, -78.1531		
67	13989	0.3323, -78.2977		140	11842	0.1693, -78.1807		
68	13990	0.3324, -78.2888						

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación	Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
69	14108	0.3404, -78.3064	Cuicocha	141	11843	0.1698, -78.1716	
70	14109	0.3405, -78.2982		134	11700	0.1618, -78.3776	
				135	11701	0.1616, -78.3690	San José de Minas
				138	11820	0.1701, -78.3778	
				139	11821	0.1700, -78.3691	
				142	12290	0.2061, -78.4687	
				143	12409	0.2151, -78.4774	Oeste de San José de Minas
				144	12410	0.2151, -78.4690	
				145	12986	0.2602, -78.6836	
				146	12987	0.2601, -78.6753	Chalguayacu
				149	13106	0.2692, -78.6838	
				150	13107	0.2686, -78.6754	
				151	13133	0.2700, -78.4406	
				152	13169	0.2682, -78.1175	Angochagua
				153	13170	0.2690, -78.1088	
				147	13049	0.2601, -78.1172	
				148	13050	0.2602, -78.1089	
				154	13509	0.2962, -78.2974	
				155	13510	0.2965, -78.2888	Oeste de Cotacachi
				157	13629	0.3049, -78.2971	
				158	13630	0.3055, -78.2883	
				159	13631	0.3052, -78.2795	
				156	13623	0.3057, -78.3503	
				160	13742	0.3140, -78.3600	Norte de laguna de Cuicocha
				161	13743	0.3140, -78.3514	
				162	13744	0.3141, -78.3429	
				163	13868	0.3228, -78.3064	

<u>Información del Cuerpo de Bomberos</u> Superficie afectada: 138.5 ha
<u>Información de prensa</u> Ninguna
<u>Conclusión</u> La estimación a partir de las imágenes satelitales indica un total de 7772 ha afectadas. El Cuerpo de Bomberos indica 138.5 ha.

Horario probable de incendio en la mañana Puntos 1, 2, 3, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 22, 23, 30, 32, 33, 34, 37, 38, 41, 56, 57, 58, 59, 65, 66, 67, 68, 69, 70: 08h00 – 12h00	Horario probable de incendio en la tarde Puntos 71 al 118, 121 al 128, 130, 134 al 163: 12h00 – 16h00
---	---

Tabla 10. Cont

<p>Puntos 4, 5, 6, 7, 8, 9, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 35, 36, 39, 40, 42, 43, 45, 49, 50, 53, 54, 55, 60, 61, 62, 63, 64: 08h00 – 16h00</p> <p>Puntos 44, 46, 47, 48, 51, 52: 08h00 – 24h00</p>	<p>Puntos 119, 120, 129, 131, 132, 133 12h00 – 24h00</p>
---	--

4.2 Estimación del área quemada

De las tres fuentes de información usadas, dos fueron insuficientes para estimar el área afectada por los incendios forestales de septiembre de 2015. La información proporcionada por el CBDMQ corresponde exclusivamente al área quemada por día. El CBDMQ no proporcionó información sobre las coordenadas y localización de los incendios. La información de prensa no proporcionó datos sobre el área quemada ni la duración de los incendios forestales pero sí sobre su localización al mencionar los nombres de las zonas donde se detectaron incendios. Es por eso que solo se usó la información de las imágenes satelitales para estimar el área quemada. Adicionalmente, se usó la información de prensa para comprobar la localización de los incendios forestales.

4.3 Emisiones por incendios forestales

Las emisiones calculadas se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Emisiones asociadas a incendios forestales por día de incendio

Día del incendio	Emisiones de NO _x (t)	Emisiones de CO (t)	Emisiones de NMVOC (t)	Emisiones de SO ₂ (t)	Emisiones de PM ₁₀ (t)	Emisiones de PM _{2.5} (t)
01/09/2015	10.2	800.1	44.7	7.8	133.3	102
05/09/2015	21.6	923.7	50.4	9.1	167.2	119.8
07/09/2015	9.6	754.8	42.2	7.4	125.8	96.2
08/09/2015	71.9	3 803	209.6	37.4	665.4	489.6
12/09/2015	42.3	2 541.1	140.8	25	436.9	325.9
14/09/2015	829.4	39 703.4	2 180	391.3	7 057.5	5 131.6
15/09/2015	138.1	9 233.1	513.6	90.6	1 566.6	1 181.1
16/09/2015	53.5	4 204.2	235	41.2	700.7	535.8
17/09/2015	29.6	1 555	86.9	15.2	259.1	198.2
21/09/2015	20.2	968.3	53.1	9.5	172	125
23/09/2015	12	209.2	10.5	2.1	47.4	28.6
25/09/2015	21	366.1	18.4	3.7	83	50.1
27/09/2015	11.1	592.8	32.7	5.8	103.6	76.3
28/09/2015	40.1	1 286.2	68.9	12.7	246.2	168.8
Emisiones totales (t)	1 310.6	66 941	3 686.8	658.8	11 764.7	8 629

Según la información del CBDMQ y de la prensa, algunos de los días que no aparecen en la tabla 11 también tuvieron incendios. Sin embargo, éstos no se contabilizan ya que debieron estar debajo del límite de detección del sensor remoto: 1000 m² (Giglio, 2015). Otra posibilidad es que fueron incendios pequeños que se controlaron rápidamente.

Las emisiones resaltadas son las más altas que se calcularon. Corresponden al 14 de septiembre de 2015, día en el que se detectaron la mayor cantidad de incendios forestales en todo el período estudiado.

Según se puede observar, el contaminante con mayor nivel de emisión es el CO (66 941 t) y el menos emitido es el SO₂ (658.8 t). Estos resultados son coherentes con lo que indica la literatura.

4.3.1. Distribución temporal de las emisiones

La distribución de las emisiones calculadas se realizó tomando como referencia principal los horarios de paso de los satélites Terra y Aqua. Como ya se mencionó anteriormente, el satélite Terra pasa sobre el Ecuador a las 10h30 y el satélite Aqua lo hace a las 13h30. Esto permite proponer 3 rangos de distribución:

- Incendio detectado solo por Terra: Emisiones distribuidas desde las 08h00 hasta las 12h00
- Incendio detectado solo por Aqua: Emisiones distribuidas desde las 12h00 hasta las 16h00
- Incendio detectado por Terra y Aqua: Emisiones distribuidas desde las 08h00 hasta las 16h00

Adicionalmente, los días 14, 15, 16 y 17 presentaron casos especiales. En estos días, algunas celdas mostraron presencia de incendio durante la tarde (detección por Aqua) y luego a la mañana del día siguiente (detección por Terra), el incendio seguía mostrándose en la misma celda. En casos como esos, la distribución de las emisiones se realizó para las 24 horas del día.

Las emisiones se distribuyeron para el número de horas que indique el intervalo apropiado.

Es necesario recalcar que estos rangos de distribución indicados son tentativos. Existe la posibilidad de proponer otras alternativas. Se elige trabajar con este criterio ya que la asunción es plausible y útil para realizar el trabajo de distribución.

4.3.1. Distribución espacial de las emisiones

Se ha elegido el contaminante $PM_{2.5}$ para realizar los mapas que muestran la distribución de las emisiones en la malla del inventario y en el DMQ. Cada mapa corresponde a un día de septiembre de 2015 que mostró presencia de incendios forestales.

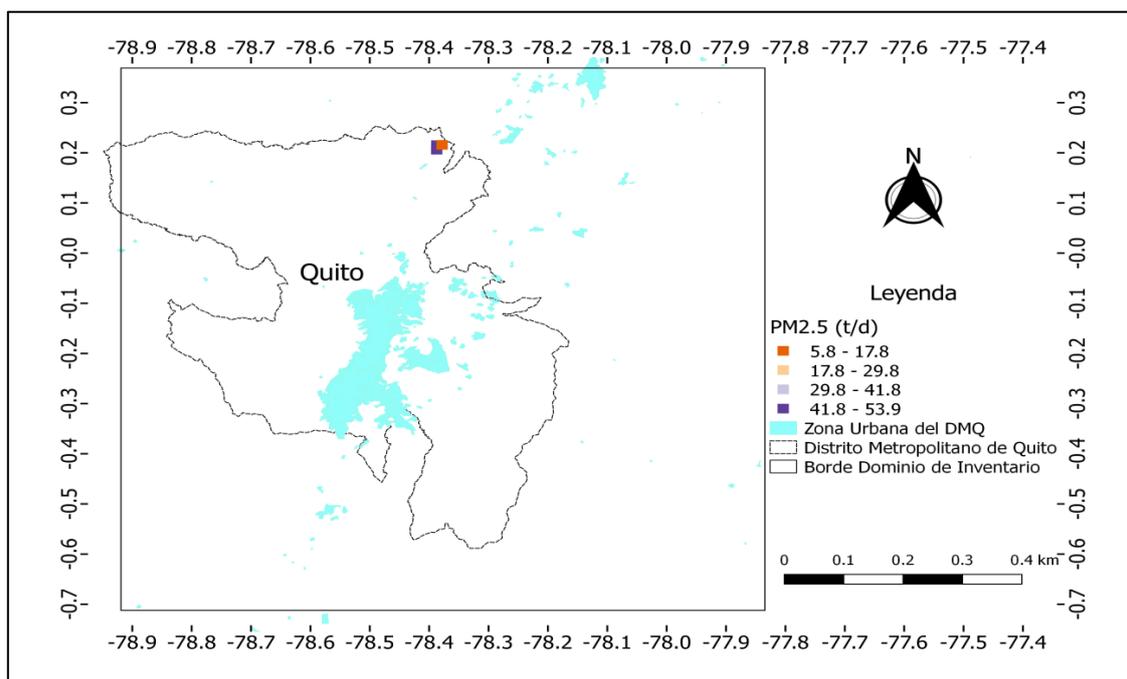


Figura 11. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 1 de septiembre de 2015

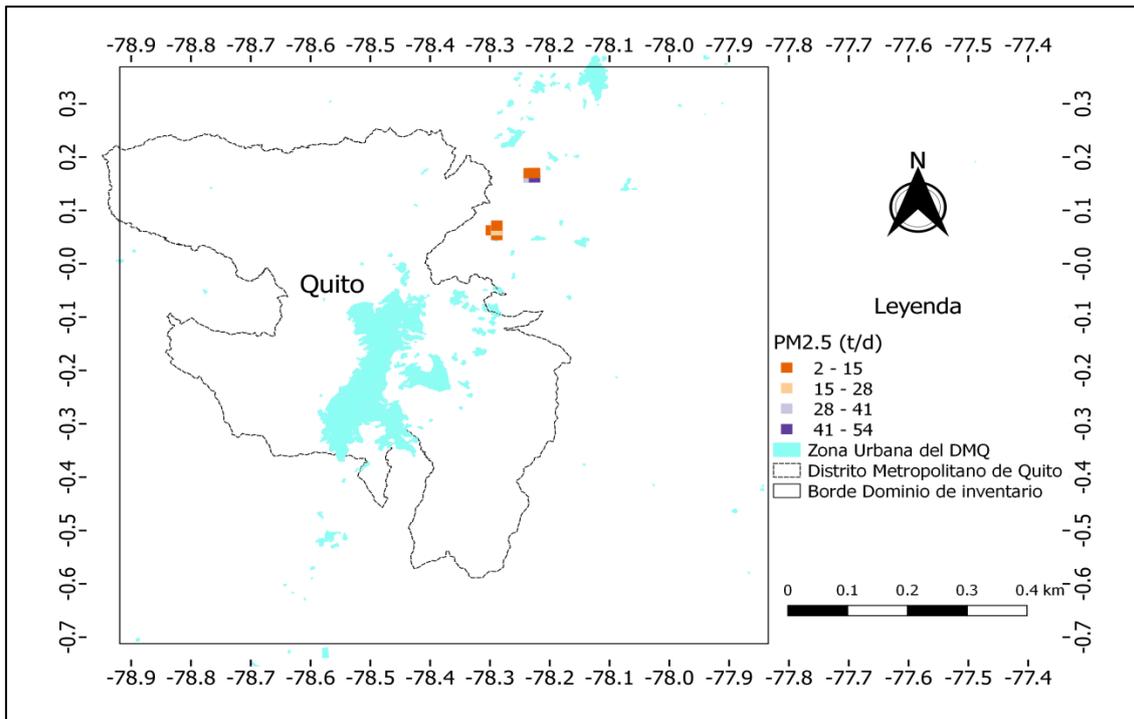


Figura 12. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 5 de septiembre de 2015

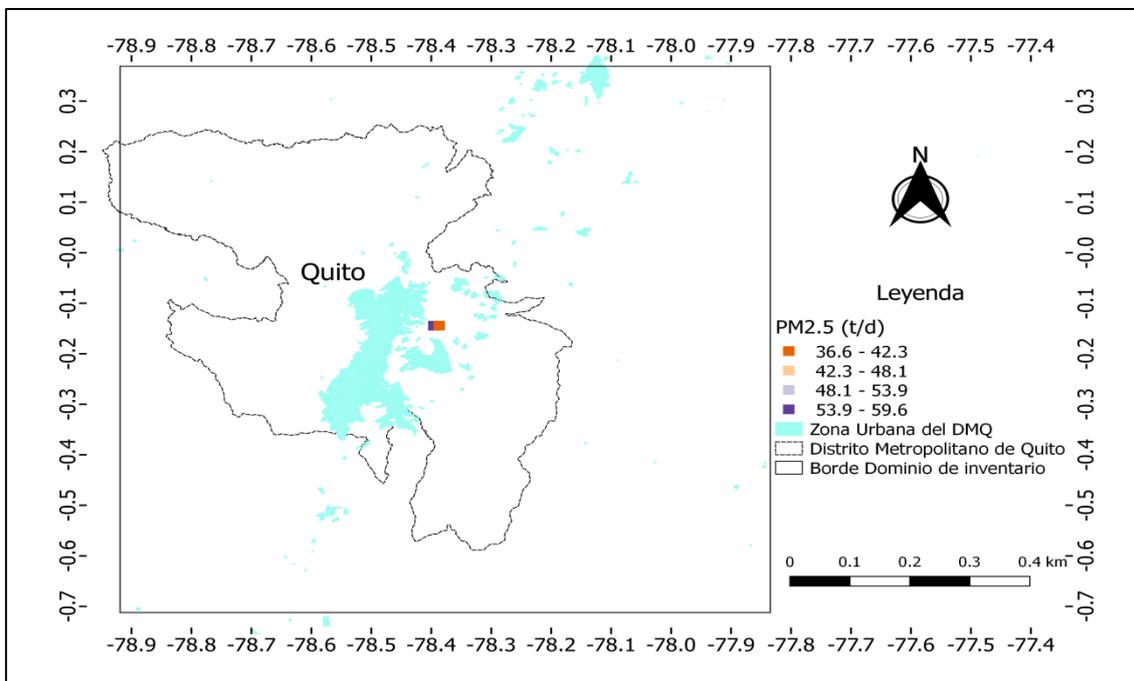


Figura 13. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 7 de septiembre de 2015

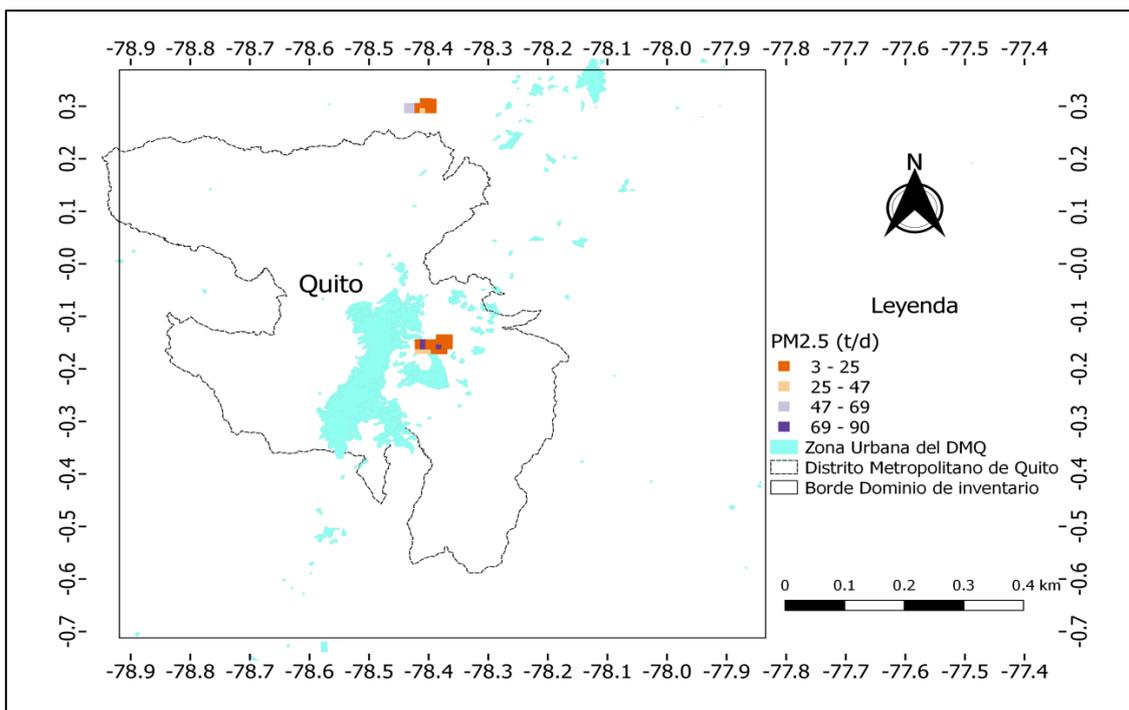


Figura 14. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 8 de septiembre de 2015

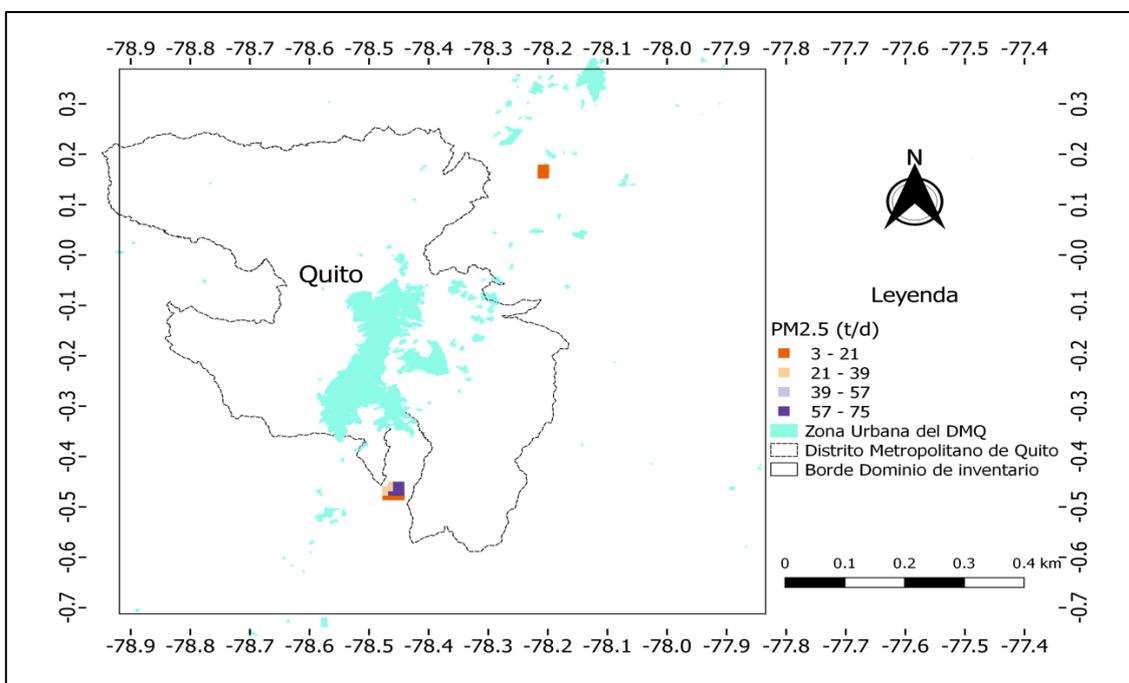


Figura 15. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 12 de septiembre de 2015

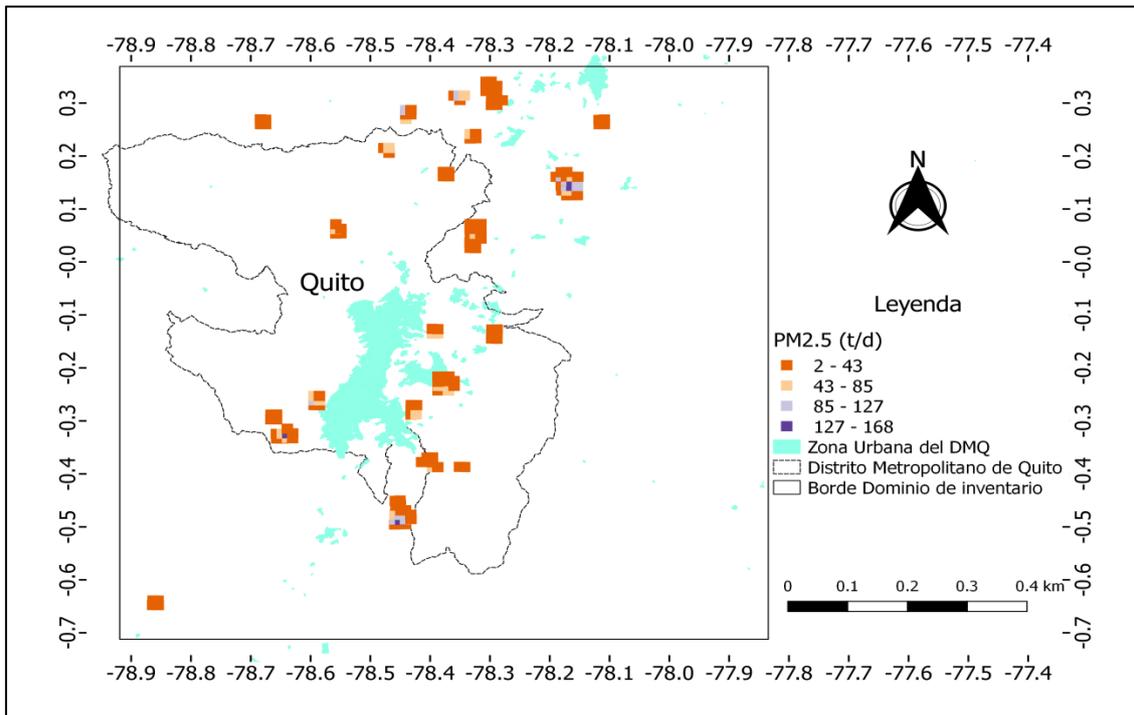


Figura 16. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 14 de septiembre de 2015

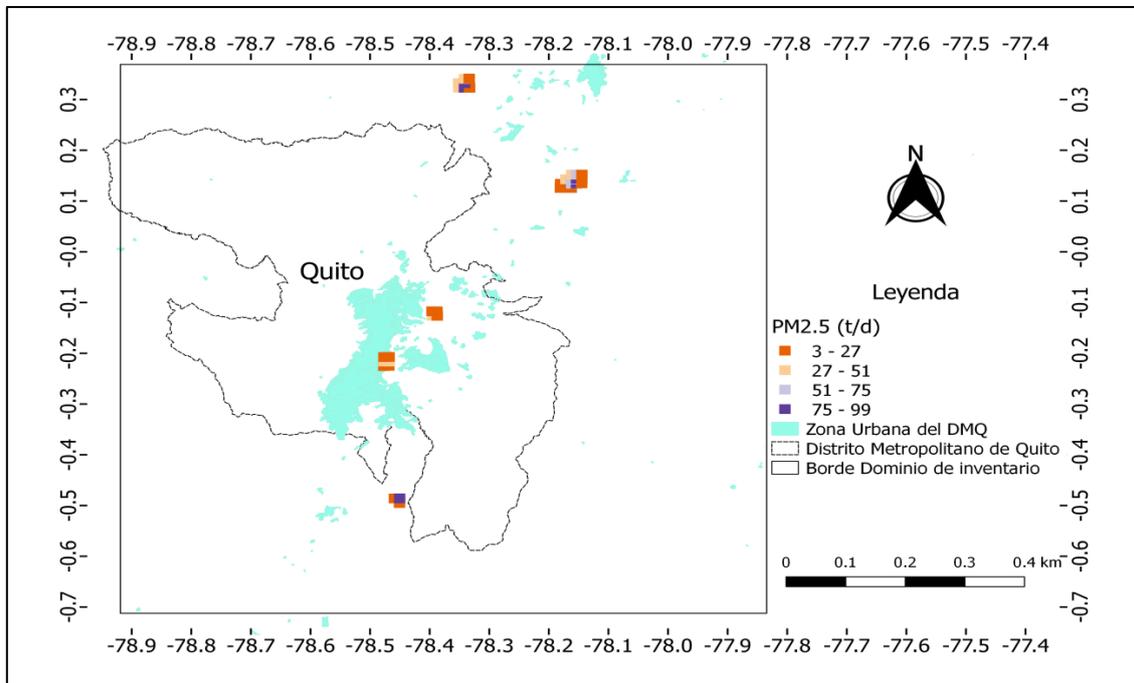


Figura 17. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 15 de septiembre de 2015

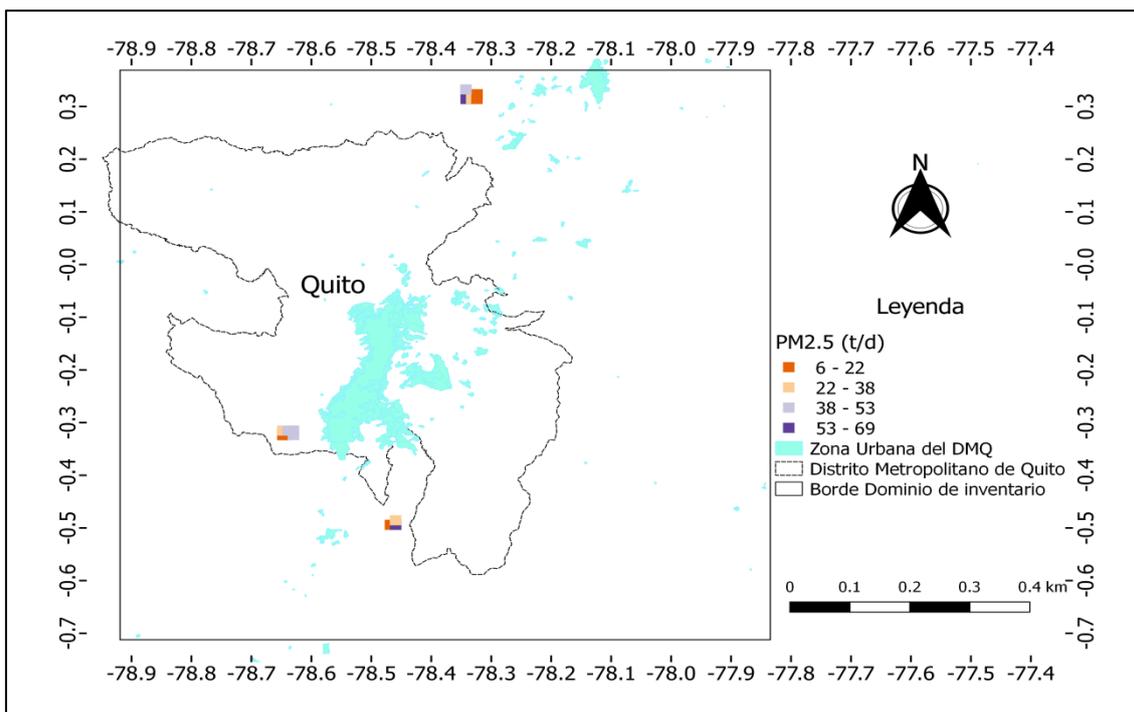


Figura 18. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 16 de septiembre de 2015

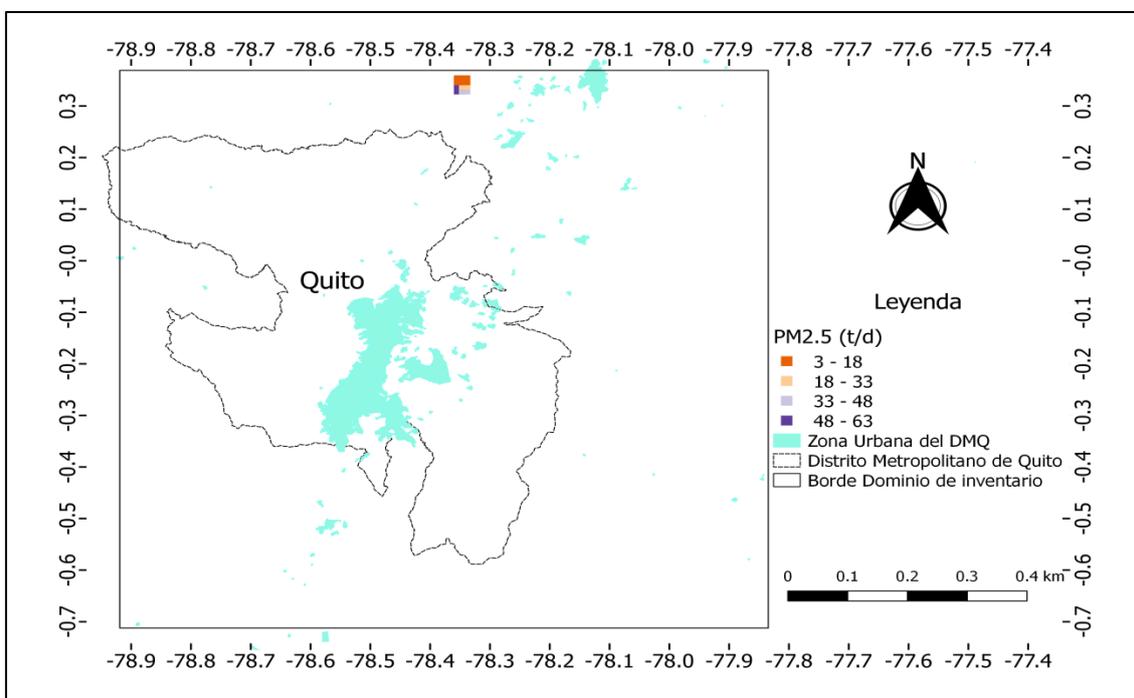


Figura 19. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 17 de septiembre de 2015

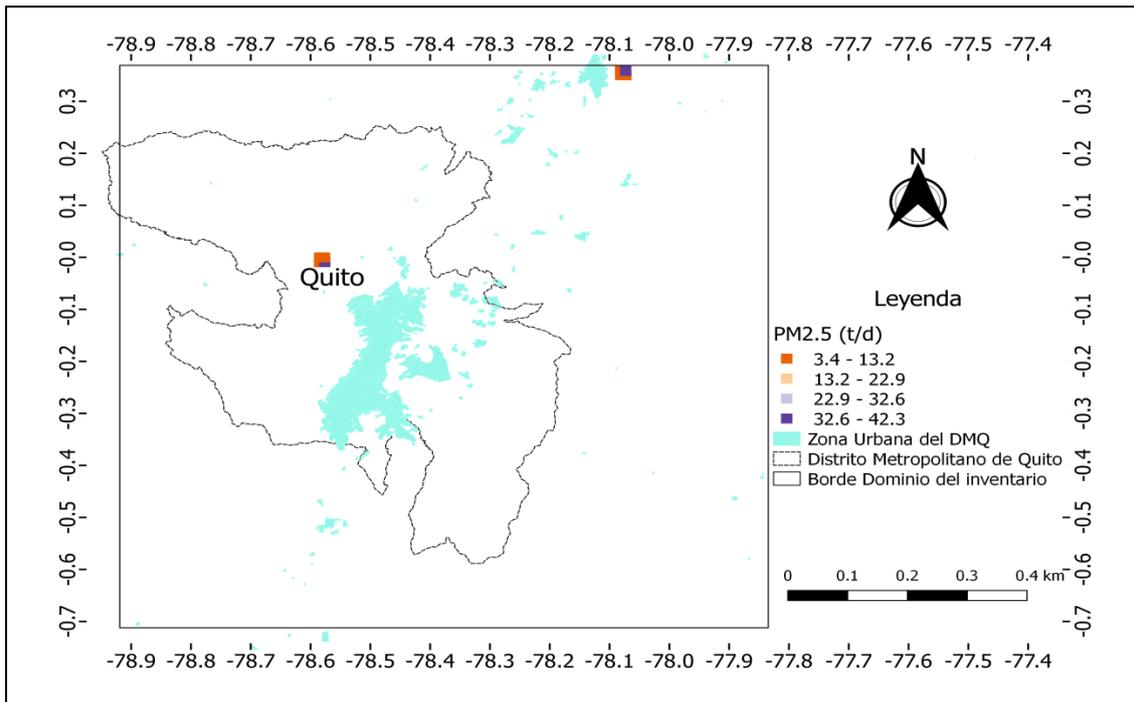


Figura 20. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 21 de septiembre de 2015

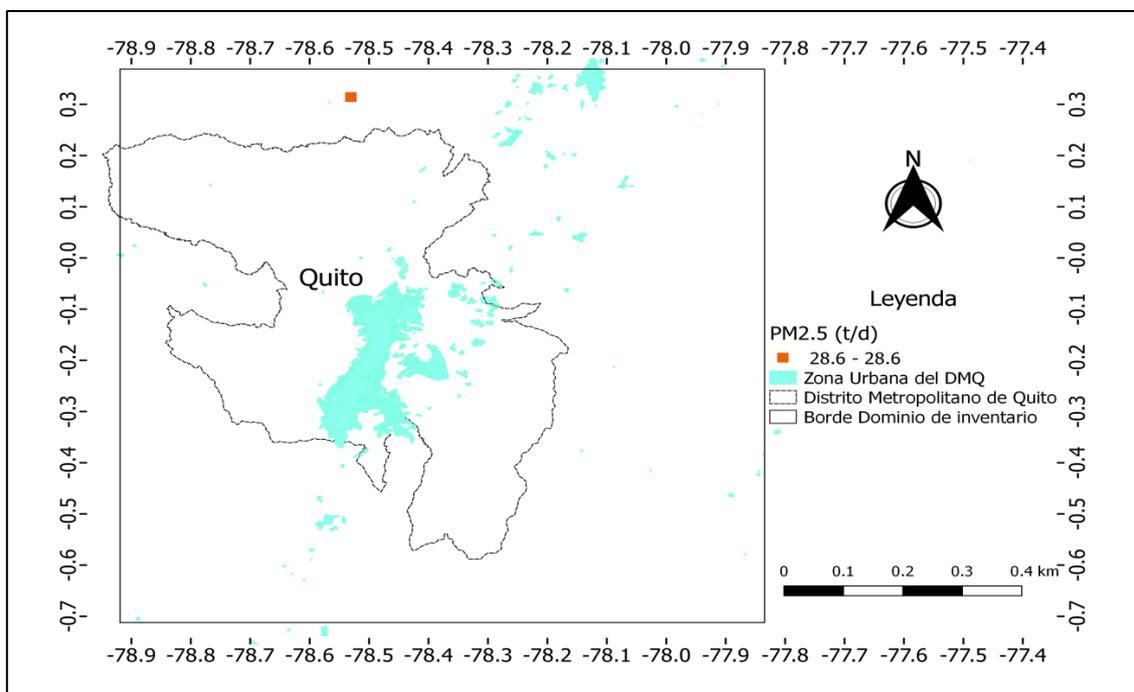


Figura 21. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 23 de septiembre de 2015

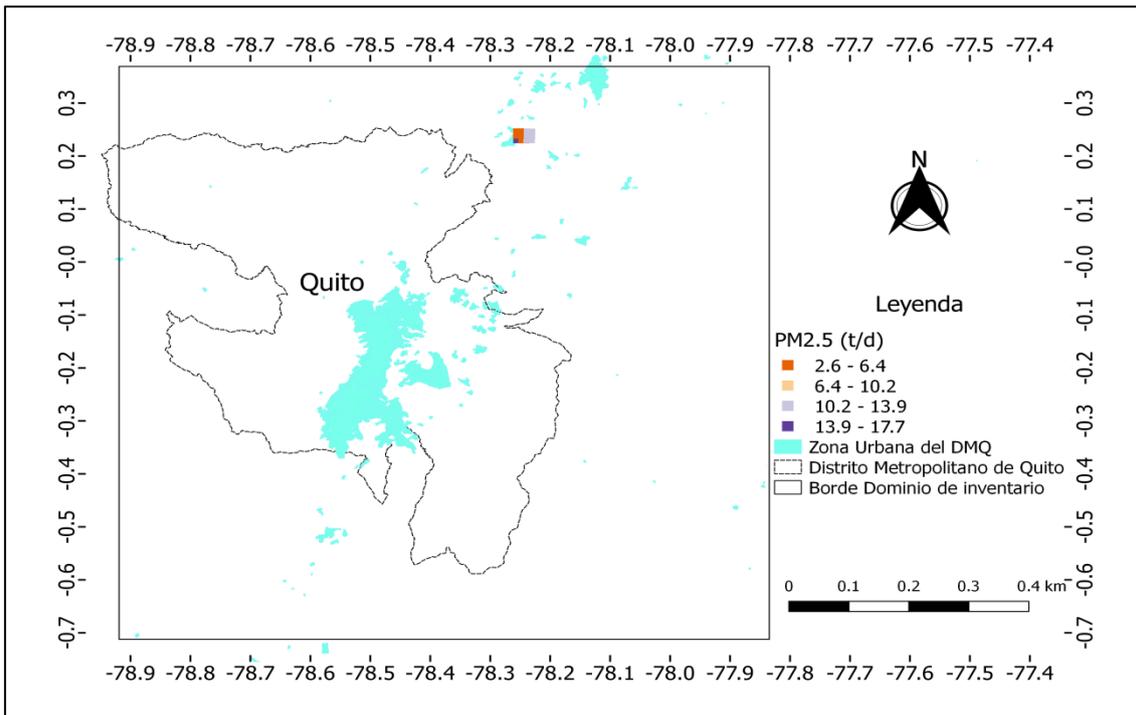


Figura 22. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 25 de septiembre de 2015

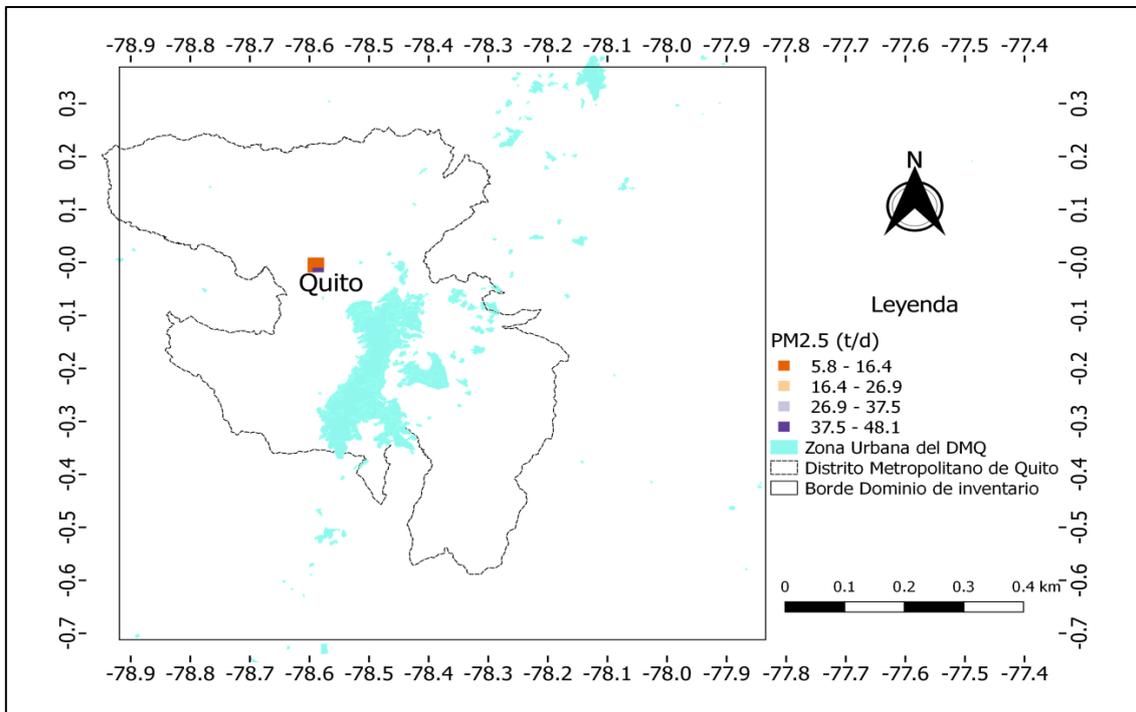


Figura 23. Mapa de emisión de $PM_{2.5}$ generado por incendios forestales para el 27 de septiembre de 2015

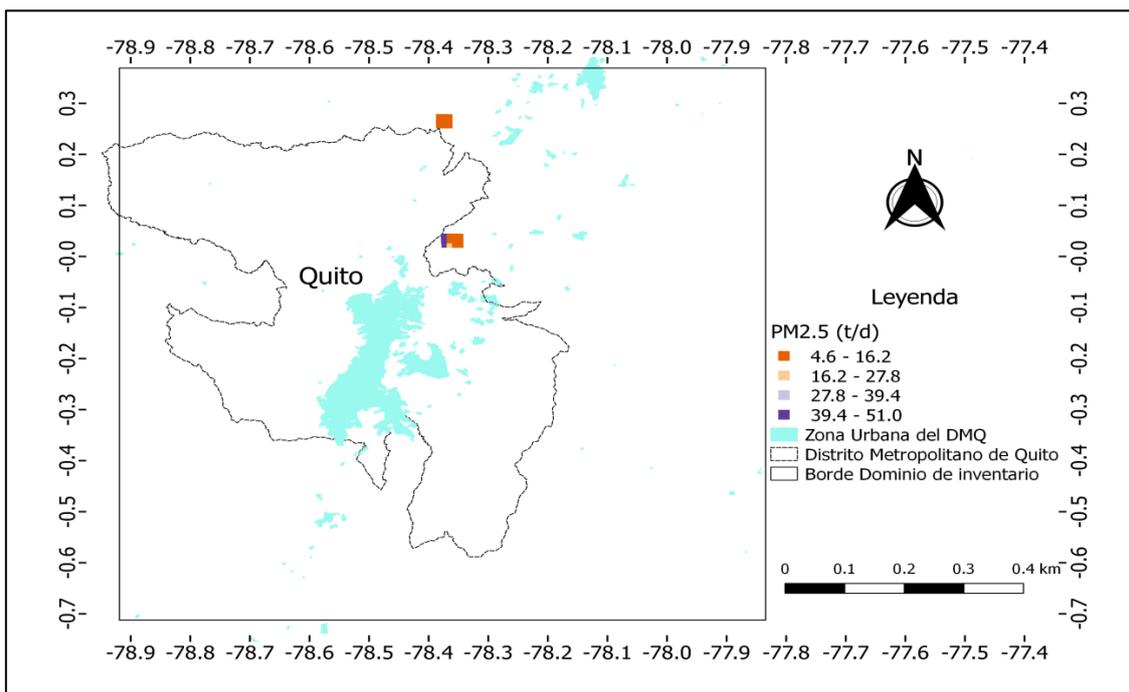


Figura 24. Mapa de emisión de PM_{2.5} generado por incendios forestales para el 28 de septiembre de 2015

Como se puede observar, los días 5, 12, 17, 23, 25 y 28 no tuvieron incendios detectables que generaran emisiones dentro del DMQ. Por otro lado, todos los incendios detectados para los días 1, 7 y 27 ocurrieron dentro del DMQ. Los días 8, 14, 15, 16 y 21 tuvieron incendios que generaron emisiones dentro y fuera del DMQ.

4.4 Comparación con información oficial

Además de las 3 fuentes de información mencionadas, se usó un archivo oficial en formato *shapefile* que contiene información geográfica acerca de las zonas afectadas por los incendios de septiembre de 2015. Este archivo, proporcionado por la Secretaría de Ambiente de Quito, permitió comparar la información oficial de los incendios y la información deducida a partir de la plataforma de MODIS. El *shapefile* de

la Secretaría de Ambiente se comparó con un mapa de emisiones totales de $PM_{2.5}$ generado por los incendios forestales de septiembre de 2015 (Figura 25).

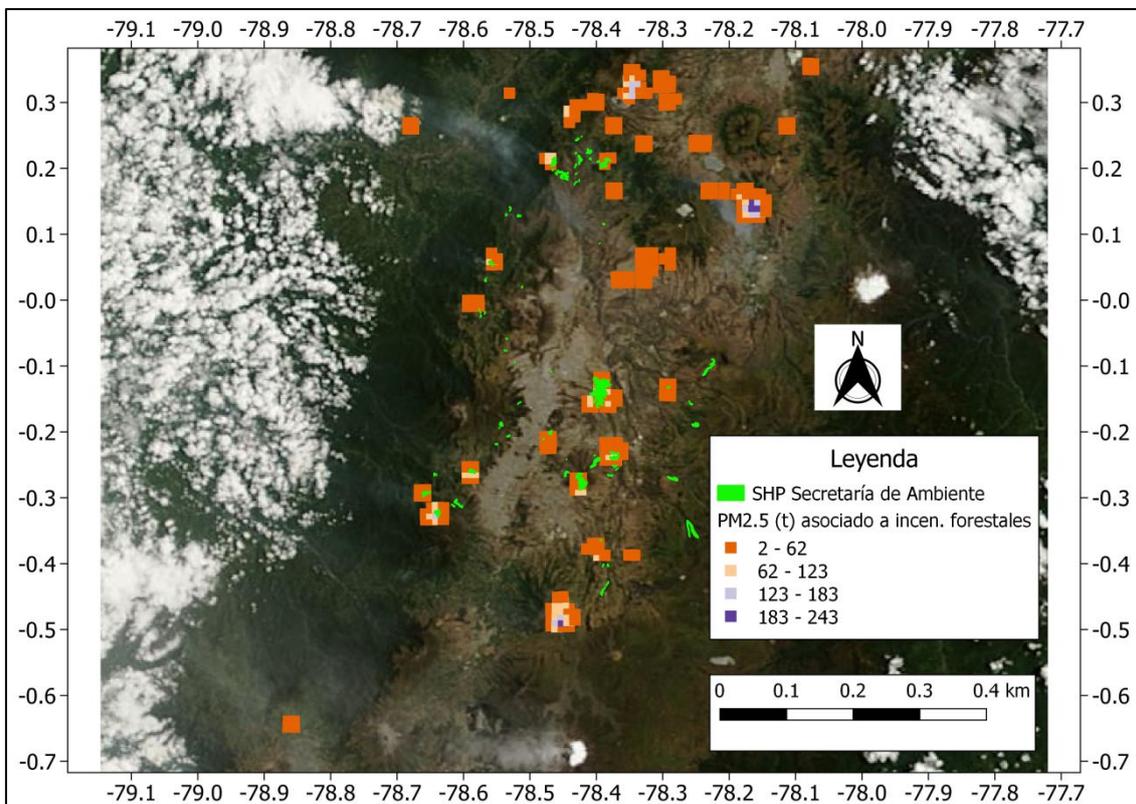


Figura 25. Imagen satelital con incendios de todo el mes de Septiembre 2015.

Como se puede observar en la figura 25, algunos de los incendios de las imágenes satelitales coinciden con las áreas quemadas establecidas por la Secretaría de Ambiente. Por tanto, el uso de las imágenes satelitales para estimar el área quemada por los incendios de septiembre de 2015 se puede considerar apropiado.

4.5 Incremento a emisiones típicas de septiembre de 2015 causado por emisiones de incendios forestales

Como se puede apreciar en las figuras 11 a la 24, existen algunos incendios forestales que caen dentro del dominio cuadrado del inventario pero fuera del Distrito Metropolitano de Quito. Con el fin de cuantificar el incremento que los incendios forestales causaron a las emisiones totales del DMQ en septiembre 2015, se determinaron las emisiones generadas dentro del DMQ. Esto se realizó mediante un nuevo análisis de las fichas técnicas, en el que se determinó cuáles incendios con sus respectivas celdas caían dentro del DMQ. En caso de que ningún incendio cayera dentro del DMQ, se le otorgó a las emisiones por incendios forestales el valor de cero.

Las emisiones de septiembre totales y las que ocurrieron dentro del DMQ se muestran, por contaminante, en la tabla 12.

Tabla 12. Emisiones por incendios forestales de Septiembre de 2015 dentro de la malla del inventario y dentro del DMQ.

Contaminante	Emisiones totales por incendios forestales (t)	Emisiones por incendios forestales dentro del DMQ (t)
CO	66 941	23 140.1
NMVOC	3 686.8	1 282.7
NO _x	1 310.6	387.8
PM _{2.5}	8 629	2 968.6
PM ₁₀	11 764.7	3 982.3
SO ₂	658.8	227.3

Para cuantificar el incremento que las emisiones por incendios forestales causaron en el nivel de emisión del DMQ, se usarán los datos del último inventario de emisiones del DMQ. El inventario del DMQ generado para el 2011 contiene información acerca de la cantidad de emisiones de contaminantes primarios por mes

(Secretaría de Ambiente, 2014). Se tomaron los valores de septiembre de 2011 y se calculó un porcentaje de incremento con respecto a las emisiones totales calculadas en este inventario (Tabla 13).

Tabla 13. Incremento en las emisiones mensuales del DMQ asociado a incendios forestales.

Contaminante primario	Emisiones de septiembre de 2011 (t) A	Emisiones por incendios forestales calculadas para septiembre de 2015 (t) B	Relación $\frac{B}{A}$
CO	8 100	23 140.1	2.8
NMVOCs	5 000	1 282.7	0.25
NO _x	2 500	387.8	0.15
PM _{2.5}	180	2 968.6	16.5
PM ₁₀	600	3 982.3	6.6
SO ₂	460	227.3	0.49

La tabla 13 muestra que los incendios forestales causaron un incremento alto en el nivel de emisión de los contaminantes CO, PM_{2.5} y PM₁₀, siendo el mayor incremento el del PM_{2.5}: 16.5 veces.

Para cuantificar el incremento en el nivel de emisión diario, se usa la siguiente información y se realiza el siguiente cálculo. En días laborables, el flujo de vehículos se incrementa en un 10% respecto al flujo del sábado y en un 60% respecto al flujo del domingo en el norte de la ciudad. (Vega y Parra, 2014). A partir de esta información, se puede deducir que el nivel de emisión se reduce en un 10% el sábado y en un 60% el domingo. Las emisiones para una semana completa, usando una base de 1, se verían de la siguiente manera:

$$(1 \times 5) + (1 - 0.10) + (1 - 0.60) = 6.2$$

Los porcentajes obtenidos a partir de estos números indican que 81% de las emisiones totales corresponden a los días laborables, 14% corresponden al sábado y 5% corresponden al domingo.

Se usaron los valores de emisión de septiembre del inventario con año base 2011 (Secretaría de Ambiente, 2014) y se multiplicaron por el porcentaje que corresponde a los días laborables: 81%. Finalmente, ese porcentaje se divide para los 22 días laborables que tuvo septiembre de 2015. Los valores de emisión por contaminante para un día laborable de septiembre se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Emisiones para un día laborable de septiembre

Contaminante primario	Emisión (t mes ⁻¹)	Emisión de días laborables (t mes ⁻¹)	Emisión de día laborable (t d ⁻¹)
CO	8 100	6 561	298
NMVOCs	5 000	4 050	184
NO _x	2 500	2 025	92
PM _{2.5}	180	145.8	6.63
PM ₁₀	600	486	22.1
SO ₂	460	372.6	16.9

Con el nivel de emisión ya definido, es posible cuantificar el incremento que causaron los incendios forestales de septiembre de 2015 en el nivel de emisión de un día normal. El incremento en el nivel de emisión de un día laborable de septiembre se realizó por contaminante, solo para el día 14 y se muestra en la tabla 15. Se eligió este día ya que tuvo más incendios forestales que el resto de días del mes.

Tabla 15. Incremento en el nivel de emisión de un día laborable de septiembre 2015 en el DMQ asociado a incendios forestales

Contaminante	Emisiones de un día laborable en el DMQ (t d ⁻¹)	Emisiones por incendios forestales durante el 14 de septiembre de 2015 (t d ⁻¹)	Relación
	A	B	$\frac{B}{A}$
CO	298	14 871.3	50
NMVOCs	184	820.8	4.5
NO _x	92	272.4	3
PM _{2.5}	6.63	1 912.6	288
PM ₁₀	22.1	2 590.4	117
SO ₂	16.9	146.2	8.7

Según lo que indica la tabla 18, los contaminantes cuyo nivel de emisión aumentó en gran manera debido a las emisiones de incendios forestales fueron el CO, PM_{2.5} y PM₁₀. El incremento de estos contaminantes llega a ser 50, 117 y 288 veces mayor a su nivel típico. Por otro lado, la emisión de NMVOC, NO_x y SO₂ se incrementó 4.5, 3 y 8 veces de su nivel normal, asociado a las emisiones de esta fuente de área.

4.6 Especiación de las emisiones de incendios forestales

La especiación de las emisiones de NO_x, NMVOCs y PM_{2.5} por incendios forestales se hará en base a información reportada en la literatura. El estudio realizado por Mebust et al. (2011) para caracterizar emisiones de NO_x por incendios forestales compara sus resultados con una asunción de estado fotoestacionario en la pluma, esto quiere decir que 75% del NO_x está presente como NO₂. Los autores también mencionan que este valor concuerda con otros valores modelados y observados. Por tanto, se puede decir que las emisiones de NO_x calculadas en este estudio son 75% NO₂ y 25% NO.

Para los NMVOCs, la revisión de literatura realizada por Urbanski et al. (2009) indica que un 60 – 70% de su emisión corresponde a los compuestos orgánicos volátiles oxigenados OVOC. Esta especie de NMVOC, que engloba a aldehídos, cetonas, alcoholes como el metanol, ácidos como el acético y fórmico, y furanos, es de origen antropogénico pero también puede generarse a partir de la oxidación de hidrocarburos (Moreno, 2016). El 40% restante de los NMVOCs se compone de alcanos, alquenos y alquilos en proporciones de 25, 10 y 5% respectivamente (Urbanski et al., 2009).

La guía para monitoreo de material particulado de la EPA reúne información de varios perfiles para la especiación de $PM_{2.5}$ generado en incendios forestales y propone la siguiente composición. De las emisiones de $PM_{2.5}$ por incendios forestales: 50% corresponde a carbono orgánico OC, 3% corresponde a carbono elemental EC y el 47% restante corresponde a elementos como aluminio Al, magnesio Mg, sodio Na, azufre S, calcio Ca, hierro Fe, y iones como cloruro Cl^- , nitrato NO_3^- , sulfato SO_4^{2-} y amonio NH_4^+ , entre otros (Chow y Watson, 1998).

4.7 Análisis de incertidumbre

4.7.1 Posibles fuentes de incertidumbre en el inventario

4.7.1.1 Horario de distribución de emisiones.

Una fuente importante de incertidumbre en el inventario es el horario escogido para distribuir las emisiones. El horario propuesto se eligió únicamente en base a la información de las imágenes satelitales sacadas de la plataforma de MODIS.

Como ya se mencionó, solo una de las tres fuentes de información usada sirvió para determinar la distribución temporal de las emisiones. La información disponible no es suficiente para distribuir con un horario más cercano a la realidad. Los mejores criterios que se tiene son los usados ahora.

4.7.1.2 Estimación del área quemada.

Otra fuente de incertidumbre es la estimación del área quemada. Esta estimación se realizó en base a las imágenes satelitales de la plataforma de MODIS. Sin embargo, estos satélites solo pasan sobre el país dos veces al día: a las 10h30 y a las 13h30, y señalan los incendios con un punto rojo. La limitación de usar estos sensores remotos para detectar los incendios es que los mismos pueden extenderse o reducirse durante el período de tiempo en que el satélite no los vigila. Esto implica que el área que ocupa el punto rojo mostrado en la imagen satelital puede encogerse o expandirse. Por tanto, el área que se está usando para calcular las emisiones puede estar sobreestimada o subestimada.

4.7.2 Calificación del área quemada y los factores de emisión

En el caso de este inventario, se calificará el área quemada en vez de la actividad. Los datos usados para la estimación del área quemada se obtuvieron de los satélites de la plataforma de MODIS, la cual se puede considerar como un indicador asociado a la actividad original. Adicionalmente, estos datos presentan una variabilidad temporal entre moderada y alta porque no proveen información acerca de la hora de inicio y final de los incendios forestales. Por tanto, se le otorga al área

quemada la calificación de “C”. Es decir, calidad media, lo cual implica que la estimación es medianamente fiable y podría mejorarse.

Para los factores de emisión, se asignaron calificaciones de “E”. Los factores de emisión se obtuvieron del artículo de Wiedinmyer et al. (2011). Los autores del artículos mencionan varias veces que su investigación tiene alta incertidumbre. Además, se usan estos factores de emisión como alternativa ante la falta de información. Considerando todo esto, se les asigna a todos los factores la calificación de “E”.

El análisis de incertidumbre para este inventario se muestra en la tabla 16.

5. CONCLUSIONES

- Se calculó que los incendios forestales generaron grandes cantidades de CO (66 941 t en todo el mes) y que la emisión de SO₂ asociada a los incendios forestales fue muy pequeña (658.8 t en todo el mes). Estos resultados son cualitativamente coherentes con las emisiones que se reportan en la literatura de emisiones producidas por incendios forestales.
- El 14 de septiembre, día con más incendios forestales de todo el período estudiado, tuvo las emisiones más altas: 829.4 t de NO_x, 39 703.4 t de CO, 2 180 t de NMVOCs, 391.3 t de SO₂, 7 057.5 t de PM₁₀ y 5 131.6 t de PM_{2.5}.
- Se determinó que las emisiones por incendios forestales causaron un aumento en el nivel típico de emisión de septiembre de 2015. Este incremento fue especialmente alto el 14 de septiembre de 2015, día en que las emisiones de PM_{2.5}, PM₁₀, CO, NMVOCs y NO_x se incrementaron 288, 117, 50, 5 y 3 veces más, respectivamente.
- El inventario obtuvo una calificación de D en el análisis de incertidumbre. Esto implica que el inventario presenta un alto nivel de incertidumbre.
- Las principales fuentes de incertidumbre corresponden a los criterios para la desagregación temporal, los factores de emisión (tomados de la literatura) y la estimación del área quemada mediante imágenes satelitales.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar la especiación de las emisiones horarias, tomando como base los criterios presentados en este documento.
- Realizar una simulación de la calidad de aire con las emisiones que fueron estimadas en este inventario.
- Comparar los resultados con los registros de calidad del aire del DMQ. De ser el caso, realizar nuevamente el cálculo de las emisiones y la distribución horaria de emisiones propuesta en este estudio.
- Promover estudios para determinar factores de emisión que se puedan usar para el DMQ y así reducir los niveles de incertidumbre.
- Promover un mejor manejo de los registros de información sobre incendios forestales en el DMQ.
- Incluir más detalles, como la duración del incendio y coordenadas de la zona afectada, en los registros de incendios forestales en el DMQ llevados por el CBDMQ.

7. REFERENCIAS

- Baird, C. (2004) Química del aire a nivel del suelo y contaminación del aire. *Química Ambiental*. (p. 91). Reverte. Barcelona.
- Casares, J. (2006) Antecedentes. *Inventario, análisis y proyección de las emisiones atmosféricas industriales de Galicia*. Universidad Santiago de Compostela.
- Chacón, L. (2015) *Efectos de los incendios forestales sobre la calidad del aire en dos ciudades colombianas*. (Tesis de Magister) (p. 6). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Recuperado el 16 de marzo de 2018 desde <http://www.bdigital.unal.edu.co/53148/1/52086917.2015.pdf>
- Chaves, J. (2014) *Incendios forestales y cambio climático. Estimación de emisiones en los incendios de Andilla y Cortes de Pallás*. (Tesis de Masterado) (p. 17). Universitat Politecnica de Valencia, Valencia.
- Chow, J., Watson, J. (1998) *Guideline on Speciated Particulate Monitoring*. U. S. EPA. Recuperado el 3 de mayo de 2018 desde <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/spec/drispec.pdf>
- CICCEV-CAF-MAE. (2012) *Determinación de la línea base de factores de emisiones contaminantes en motores de combustión interna con el combustible de actual venta en el país*. Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares. Quito.
- CORPAIRE. (2006) *Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito. Año 2003*. Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito. Quito.

- CORPAIRE. (2008) *Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito. Año 2005*. Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito. Quito.
- CORPAIRE. (2009) *Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito. Año 2007*. Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito. Quito.
- Cruz, I., Echániz, G., Garibay, V., López, M., Aguilar, J. & Pérez, I. (2013) *Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Domínguez, S. (2009) *La física de un índice predictivo de riesgo de incendios forestales*. (Tesis doctoral). Universidad de Salamanca, Salamanca.
- Doria, C., Fagundo, J. (2016) Caracterización química de material particulado PM₁₀ en la atmósfera de La Guajira, Colombia. *Revista Colombiana de Química* 45 (2), 19 - 29. DOI: [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00056-5](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00056-5)
- Gallego, A., González, I., Sánchez, B., Fernández, P., Garcinuño, R., Bravo, J., Pradana, J., García, M., Durand, J. (2012) Principales contaminantes atmosféricos. *Contaminación atmosférica*. Madrid.
- Giglio, L. (2015) Frequently Asked Questions. *MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide Revision A*. (p. 44) University of Maryland. Recuperado el 8 de mayo de 2018 desde https://cdn.earthdata.nasa.gov/conduit/upload/3865/MODIS_C6_Fire_User_Guide_A.pdf
- Gordón, M. (2012) Movilidad. *Movilidad sustentable en Quito: una visión desde los más vulnerables*. (p. 142). FLACSO. Quito.

INEN. (2013) Proyección de la población ecuatoriana por años calendario, según cantones 2010 – 2020. [Archivo Excel]. Recuperado el 19 de febrero de 2018 desde <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/inec-presenta-sus-proyecciones-poblacionales-cantoniales/>

Instituto Espacial Ecuatoriano. (2013) Área de estudio. *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1: 25 000*. (p. 9). Quito.

Mebust, A., Russell, A., Hudman, R., Valin, L., Cohen, R. (2011) Characterization of wildfire NO_x emissions using MODIS fire radiative power and OMI tropospheric NO₂ columns. *Atmospheric Chemistry and Physics* 11, 5839 – 5851. DOI: 10.5194/acp-11-5839-2011.

Ministerio del Ambiente. (2014) Los inventarios de emisiones atmosféricas. *Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire, de los cantones Ambato, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro*. (pp. 10-11). Quito

Moreno, A. (2016) *Química atmosférica de compuestos orgánicos volátiles oxigenados*. (Tesis doctoral). Universidad de Castilla – La Mancha. Ciudad Real. Recuperado el 3 de mayo de 2018 desde <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/10712/TESIS%20Moreno%20Sanroma.pdf?sequence=1>

NASA. (2018) Fires. US: *EOSDIS Worldview*. Recuperado de [https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS_Aqua_CorrectedReflectance_TrueColor\(hidden\),MODIS_Terra_CorrectedReflectance_TrueCol](https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=MODIS_Aqua_CorrectedReflectance_TrueColor(hidden),MODIS_Terra_CorrectedReflectance_TrueCol)

or,Reference_Features,MODIS_Fires_All,MODIS_Fires_Terra(hidden),MODIS_Fires_Aqua(hidden),Reference_Labels,Coastlines&t=2018-03-17&z=3&v=-136.3359375,-50.563565741262686,22.9921875,57.032315741262686

Ocaña, L. (2014) *Cálculo de factores de emisión vehicular para el Distrito Metropolitano de Quito en base al análisis estadístico de los registros de la Revisión Técnica Vehicular del año 2012 y una ruta de campo establecida*. (Tesis de pregrado: Ingeniería Ambiental). Universidad San Francisco de Quito, Quito.

Parra, R. (2017) Assessment of Planetary Boundary Layer Schemes of the WRF-Chem Model in the Simulation of Carbon Monoxide Dispersion in the Urban Area of Quito, Ecuador. *WIT Transaction on Ecology and the Environment* 211, 1746-448X (online). DOI:10.2495/AIR170041DOI.

Palacios, M., Martín, F. (2002) Metodología a macroescala aplicada a la elaboración de inventarios de emisiones de contaminantes a la atmósfera (Madrid-España). *Información Tecnológica* 13 (3), 25 – 34.

Puliafito, E., Castro, F. Allende, D. (2009) Aspectos Metodológicos. *Transporte y calidad del aire en Mendoza*. Universidad Tecnológica Nacional.

Puente, D. (2015) La contaminación en Quito por Ozono fue la más alta en 12 años de monitoreo. *El Comercio*. Recuperado el 21 de septiembre de 2017 desde <http://www.elcomercio.com/actualidad/contaminacion-quito-ozono-alta-historia.html>

Radian Corporation. (1996) Introducción. *Manuales del programa de inventarios de emisiones de México*. (Volumen III, pp. 1-1 – 1-2). Recuperado el 16 de marzo de 2017 de <https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/technic3.pdf>

Ruiz, L. (2004) *Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*. UNAM. México.

San-Miguel-Ayanz, J. & Steinbrecher, R. (2016) Forest fires. *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016*. European Environment Agency.

Sbarato, D., Sbarato, V., Ortega, J. (2007) Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos. *Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmósfera*. (pp. 77-81). Universidad Nacional de Córdoba.

Secretaría de Ambiente. (2011) *Inventario de Emisiones Atmosféricas del Distrito Metropolitano de Quito 2009*. Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Quito.

Secretaría de Ambiente. (2014) *Informe Final Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio, DMQ 2011*. Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Quito.

Secretaría de Ambiente. (2018) Generalidades. Quito: Red de Monitoreo Atmosférico. Recuperado el 16 de marzo de 2018 desde <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/red-de-monitoreo>

Secretaría de Comunicación. (2015) Calidad del aire sigue en precaución debido a incendios forestales. Agencia Pública de Noticias de Quito. Quito. Recuperado el 25 de enero de 2018 desde

http://www.prensa.quito.gob.ec/mobile/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=15807&umt=Calidad%20del%20aire%20sigue%20en%20precauci%F3n%20debido%20a%20incendios%20forestales

SMA. (2005) Memorias de cálculo, Anexo A. *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2000*. Secretaría del Medio Ambiente - Gobierno del D.F. México.

Urbanski, S., Wei, M. Baker, S. (2009) Chemical Composition of Wildland Fire Emissions. *Developments in Environmental Science* 8, 79 – 107. DOI: 10.1016/S1474-8177(08)00004-1

US-EPA. (1996) *Evaluating the Uncertainty of Emission Estimates*. Emission Inventory Improvement Program.

US-EPA. (2009) *AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors*. Environmental Protection Agency, EPA. Recuperado el 14 de agosto de 2017 de <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emission-factors>

Vega, D., Parra, R. (2014) Caracterización de la intensidad media diaria y de los perfiles horarios del tráfico vehicular del Distrito Metropolitano de Quito. *Avances en Ciencias e Ingeniería* 6 (2), C40 – C45.

Vega, D., Ocaña, L. & Parra, R. (2015) Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012. *Avances en Ciencias e Ingeniería* 7 (2), C86 – C84.

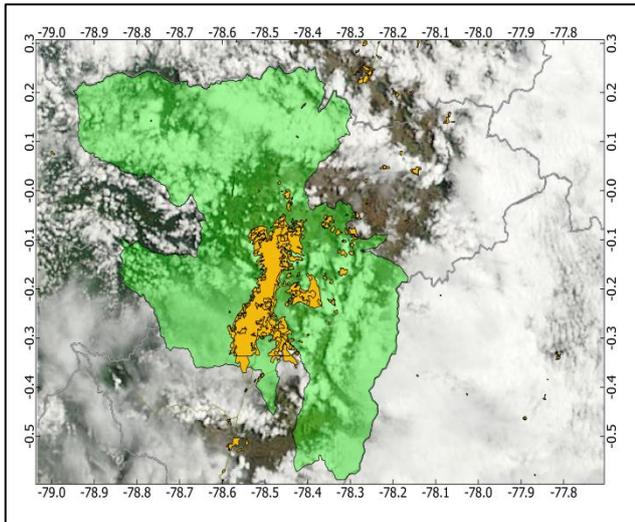
Velasco, E., Bernabé, R. (2004) *Emisiones biogénicas*. Instituto Nacional de Ecología. México.

Wiedinmyer, C., Akagi, S., Yokelson, R., Emmons, L., Al-Saadi, J., Orlando, J., Soja, A. (2011) The Fire INventory from NCAR (FINN): a high resolution global model to estimate the emissions from open burning. *Geoscientific Model Development* 4, 625 – 641.

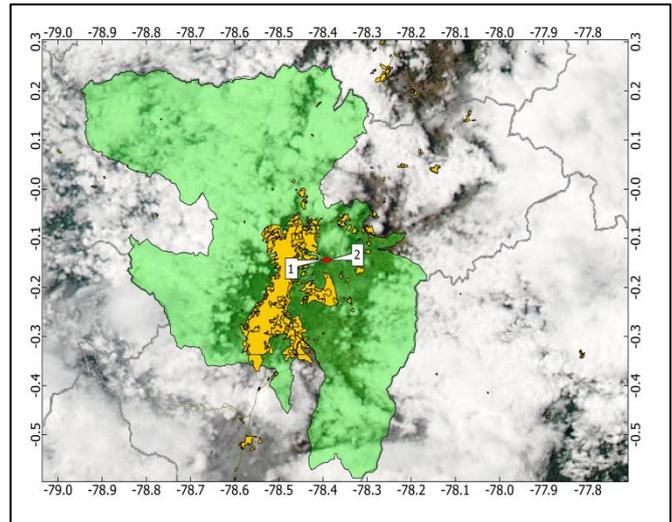
Fecha: 07/09/2015

Información de imágenes satelitales

MODIS Terra (10h30)



MODIS Aqua (13h30)



Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación

Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
1	7618	-0.14453, -78.39579	Puembo
2	7619	-0.14431, -78.38686	

Información del Cuerpo de Bomberos

Superficie afectada: 14.5 ha

Información de prensa

El 6 de septiembre de 2015, a las 14h00, se registró un incendio en Puembo. El incendio se controló hasta las 16h00 del día siguiente (El Universo, 7 de septiembre de 2015).

Conclusión

La estimación a partir de las imágenes satelitales indica un total de 100 ha afectadas.

El Cuerpo de Bomberos indica 14.5 ha.

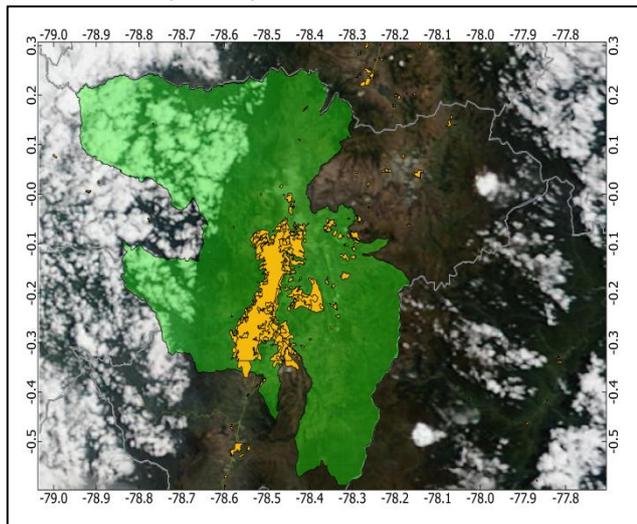
Horario probable de incendio en la mañana
Ninguno

Horario probable de incendio en la tarde
Puntos 1 al 2: 12h00 – 16h00

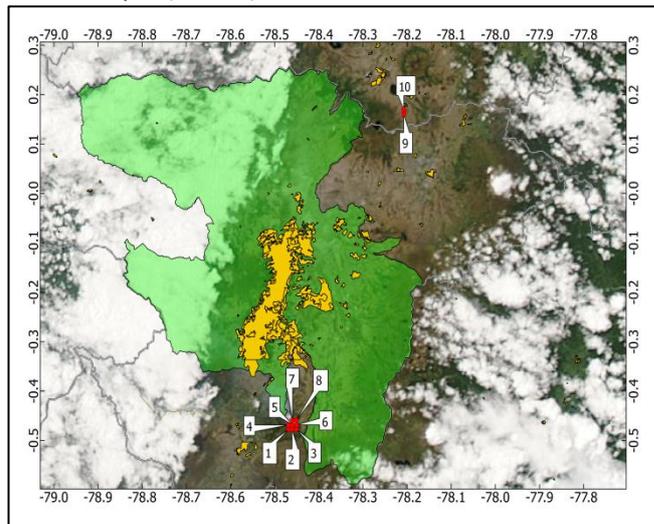
Fecha: 12/09/2015

Información de imágenes satelitales

MODIS Terra (10h30)



MODIS Aqua (13h30)

Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación

Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
1	3170	-0.47721, -78.46803	
2	3171	-0.47739, -78.45916	
3	3172	-0.47730, -78.44994	
4	3290	-0.46807, -78.46839	Pasochoa
5	3291	-0.46825, -78.45853	
6	3292	-0.46843, -78.45039	
7	3411	-0.45948, -78.45880	
8	3412	-0.45948, -78.45030	
9	11719	0.16131, -78.20769	Sur del Lago
10	11839	0.17004, -78.20739	San Pablo

Información del Cuerpo de Bomberos

Superficie afectada: 101.8 ha

Información de prensa

El 12 de septiembre de 2015, aproximadamente a las 14h00, se registró un conato de incendio forestal en la zona del Pasochoa, sureste de Quito (El Comercio, 12 de Septiembre de 2015).

Conclusión

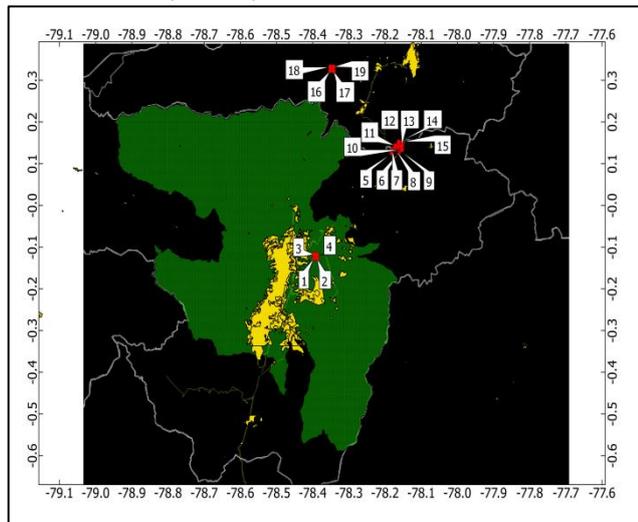
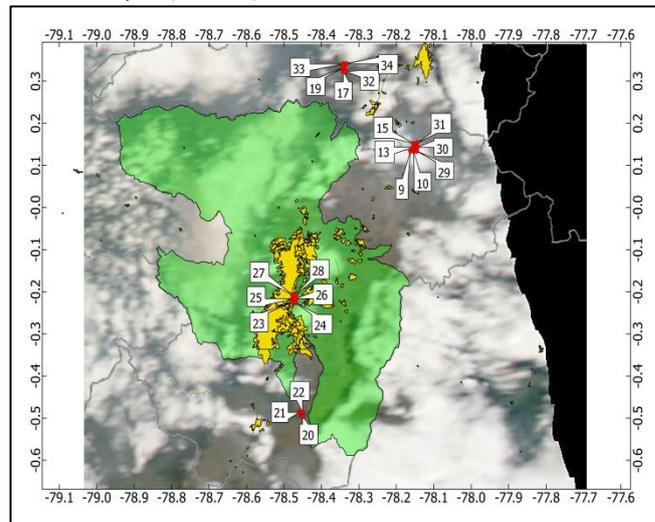
La estimación a partir de las imágenes satelitales indica un total de 414 ha afectadas.

El Cuerpo de Bomberos indica 101.8 ha.

Horario probable de incendio en la mañana
Ninguna

Horario probable de incendio en la tarde
Puntos 1 al 10: 12h00 – 16h00

Fecha: 15/09/2015

Información de imágenes satelitalesMODIS Terra (10h30)MODIS Aqua (13h30)Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
1	7858	-0.1258, -78.3954	Norte de Puembo
2	7859	-0.1262, -78.3873	
3	7878	-0.1173, -78.3960	
4	7879	-0.1174, -78.3878	
5	11242	0.1258, -78.1806	Sureste de Lago San Pablo
6	11244	0.1258, -78.1624	
7	11362	0.1339, -78.1802	
8	11363	0.1338, -78.1715	
9	11364	0.1340, -78.1617	
10	11365	0.1344, -78.1536	
11	11483	0.1427, -78.1714	
12	11484	0.1425, -78.1626	
13	11485	0.1437, -78.1535	
14	11604	0.1520, -78.1616	
15	11605	0.1523, -78.1534	
16	13863	0.3234, -78.3510	Sur del Volcán Cotacachi
17	13864	0.3230, -78.3419	
18	13983	0.3322, -78.3513	
19	13984	0.3320, -78.3423	

Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
20	2932	-0.4952, -78.4506	Pasochoa
21	3051	-0.4862, -78.4592	
22	3052	-0.4859, -78.4504	
23	6529	-0.2252, -78.4769	Auqui de Monjas
24	6530	-0.2247, -78.4686	
25	6649	-0.2162, -78.4766	
26	6650	-0.2164, -78.4680	
27	6769	-0.2074, -78.4768	
28	6770	-0.2072, -78.4681	
29	11366	0.1348, -78.1449	Sureste de Lago San Pablo
30	11486	0.1435, -78.1446	
31	11606	0.1521, -78.1445	
32	13865	0.3231, -78.3330	Sur del Volcán Cotacachi
33	14104	0.3407, -78.3415	
34	14105	0.3414, -78.3336	

Información del Cuerpo de Bomberos

Superficie afectada: 296.5 ha

Información de prensa

Se registra un incendio a las 13h46, en el cerro del Auqui (El Universo, 15 de septiembre de 2015).

Se registra un incendio en el sector La Vicentina. Comenzó a las 04h00 y se apagó 4 horas después (El Comercio, 15 de septiembre de 2015).

Conclusión

La estimación a partir de las imágenes satelitales indica un total de 1383 ha afectadas.

El Cuerpo de Bomberos indica 296.5 ha.

Horario probable de incendio en la mañana

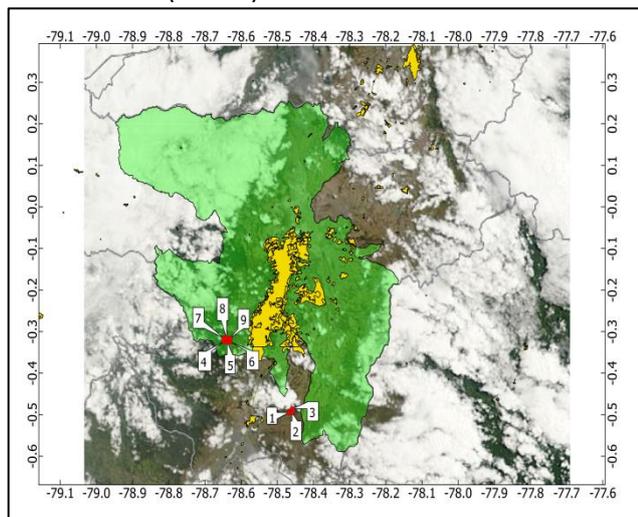
Horario probable de incendio en la tarde

<p>Puntos 1, 2, 6, 7, 8 (detectados en la tarde del día anterior), 11, 12, 14 (detectados en la mañana y tarde del día anterior): 01h00 – 12h00</p> <p>Punto 9 (detectado la tarde del día anterior), 10, 13, 15 (detectados la mañana y tarde del día anterior): 01h00 – 16h00</p> <p>Puntos 3, 4, 5, 16, 18: 08h00 – 12h00</p> <p>Puntos 17, 19: 12h00 – 16h00</p>	<p>Puntos 20, 22 al 34: 12h00 – 16h00</p> <p>Punto 21: 12h00 – 24h00</p>
--	--

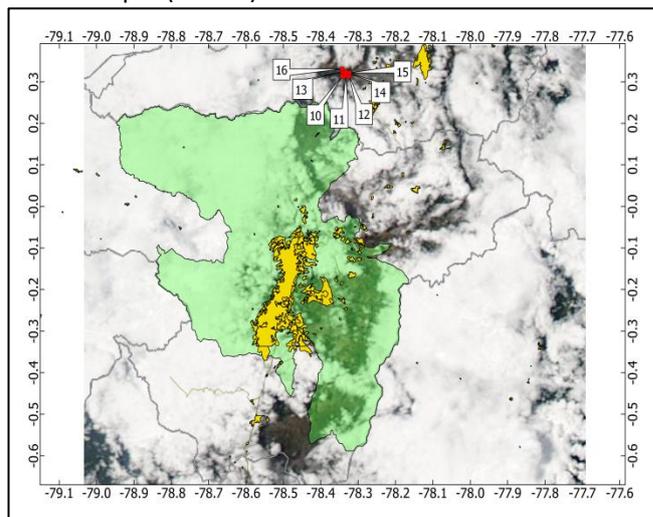
Fecha: 16/09/2015

Información de imágenes satelitales

MODIS Terra (10h30)



MODIS Aqua (13h30)

Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
1	2930	-0.4941, -78.4681	Pasochoa
2	2931	-0.4942, -78.4594	
3	3051	-0.4854, -78.4596	
4	5190	-0.3239, -78.6477	Norte del Cerro Atacazo
5	5191	-0.3237, -78.6391	
6	5192	-0.3236, -78.6300	
7	5310	-0.3153, -78.6478	
8	5311	-0.3153, -78.6388	
9	5312	-0.3150, -78.6299	

Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
10	13744	0.3141, -78.3418	Sur del Volcán Cotacachi
11	13745	0.3144, -78.3326	
12	13746	0.3142, -78.3239	
13	13864	0.3238, -78.3416	
14	13865	0.3233, -78.3326	
15	13866	0.3233, -78.3237	
16	13984	0.3325, -78.3422	

Información del Cuerpo de Bomberos

Superficie afectada: 18.2 ha

Información de prensa

Ninguna

Conclusión

La estimación a partir de las imágenes satelitales indica un total de 557 ha afectadas.

El Cuerpo de Bomberos indica 18.2 ha.

Horario probable de incendio en la mañana
Punto 3 (detectado en la tarde del día anterior):
01h00 – 12h00

Puntos 1 al 9: 08h00 – 12h00

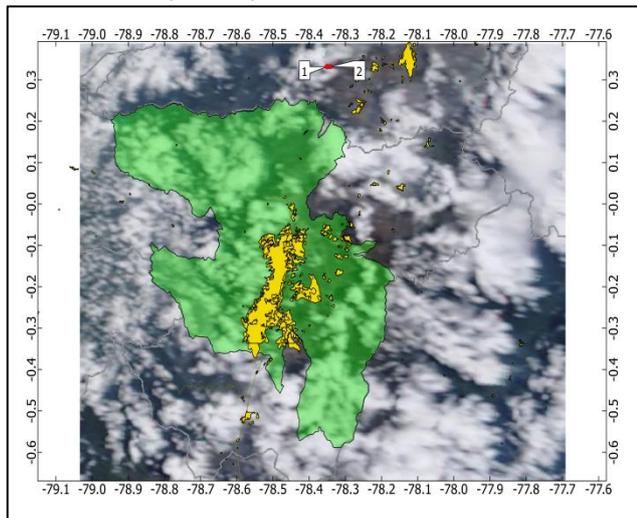
Horario probable de incendio en la tarde
Puntos 10 al 15: 12h00 – 16h00

Punto 16: 12h00 – 24h00

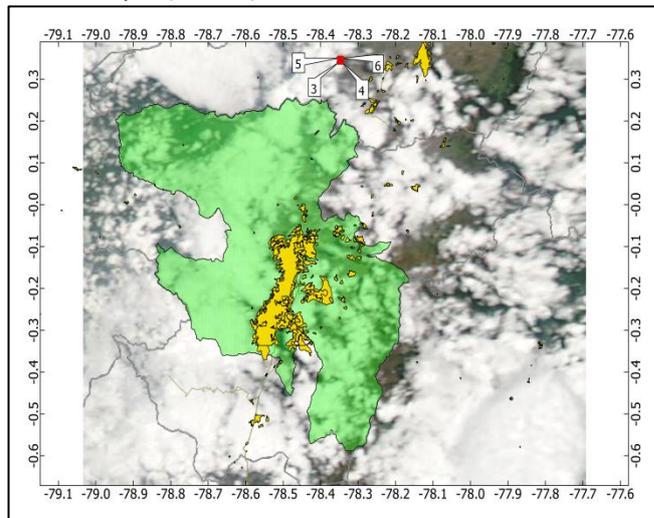
Fecha: 17/09/2015

Información de imágenes satelitales

MODIS Terra (10h30)



MODIS Aqua (13h30)



Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
1	13983	0.3320, -78.3508	Norte de laguna de Cuicocha
2	13984	0.3321, -78.3424	

Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
3	14103	0.3408, -78.3505	Norte de laguna de Cuicocha
4	14104	0.3408, -78.3424	
5	14223	0.3499, -78.3509	
6	14224	0.3499, -78.3424	

Información del Cuerpo de Bomberos

Superficie afectada: 7.5 ha

Información de prensa

Se registraron incendios en los sectores de Ilaló, Chiriboga y Lloa. A las 11h50, los incendios seguían activos (E; Comercio, 17 de septiembre de 2015).

Conclusión

La estimación a partir de las imágenes satelitales indica un total de 206 ha afectadas.

El Cuerpo de Bomberos indica 7.5 ha.

Horario probable de incendio en la mañana
Punto 2 (detectado la tarde del día anterior):
01h00 – 12h00

Punto 1: 08h00 – 12h00

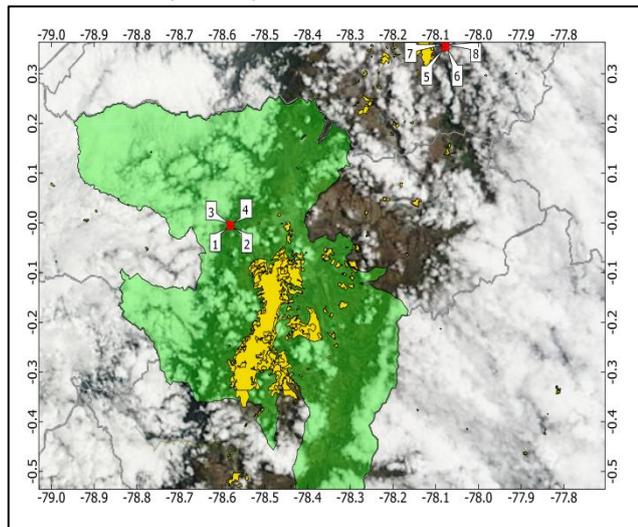
Horario probable de incendio en la tarde

Puntos 3 al 6: 12h00 – 16h00

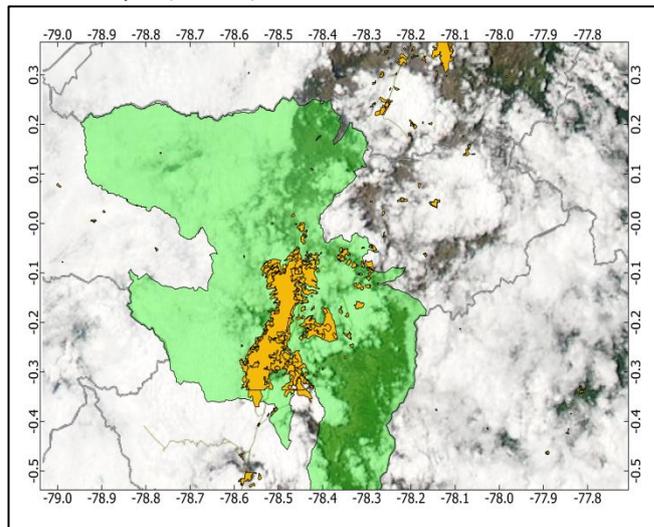
Fecha: 21/09/2015

Información de imágenes satelitales

MODIS Terra (10h30)



MODIS Aqua (13h30)



Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
1	9397	-0.0094, -78.5849	Alaspungo
2	9398	-0.0092, -78.5764	
3	9517	-0.0001, -78.5849	
4	9518	-0.0003, -78.5767	
5	14253	0.3503, -78.0812	Este de la laguna de Yahuarcocha
6	14254	0.3501, -78.0728	
7	14373	0.3594, -78.0815	
8	14374	0.3585, -78.0730	

Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación

Información del Cuerpo de Bomberos

Superficie afectada: 1.2 ha

Información de prensa

Ninguna

Conclusión

La estimación a partir de las imágenes satelitales indica un total de 189 ha afectadas.

El Cuerpo de Bomberos indica 1.2 ha.

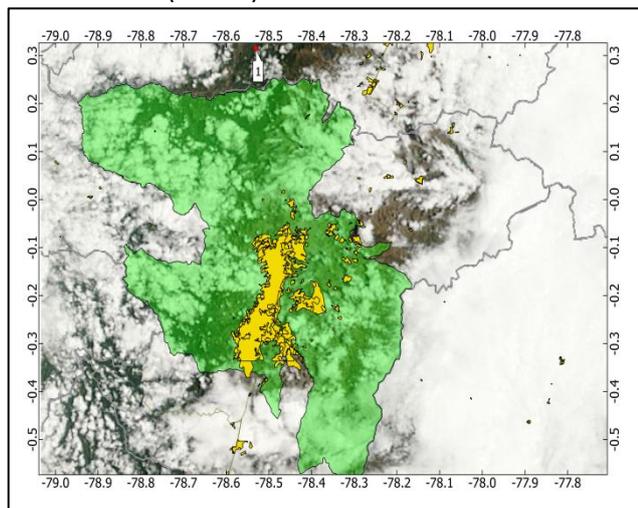
Horario probable de incendio en la mañana
Puntos 1 al 8: 08h00 – 12h00

Horario probable de incendio en la tarde
Ninguno

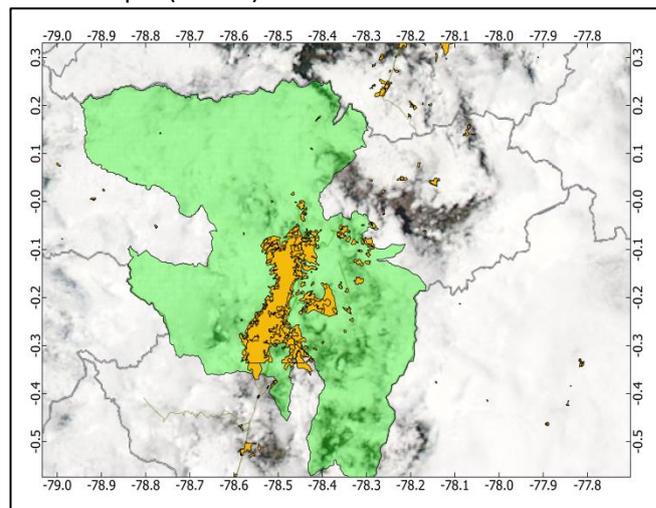
Fecha: 23/09/2015

Información de imágenes satelitales

MODIS Terra (10h30)



MODIS Aqua (13h30)



Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
1	13723	0.3142, -78.5308	Apuela

Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación

Información del Cuerpo de Bomberos

Superficie afectada: 6 ha

Información de prensa

La tarde del 23 de septiembre a las 15:30 se reportaron dos conatos de incendio forestal: uno en Cochapamba y el otro en La Pulida. Cada incendio tardó media hora y 1 hora y media respectivamente para ser controlado (El Comercio, 23 de septiembre de 2015).

Conclusión

La estimación a partir de las imágenes satelitales indica un total de 100 ha afectadas.
El Cuerpo de Bomberos indica 6 ha.

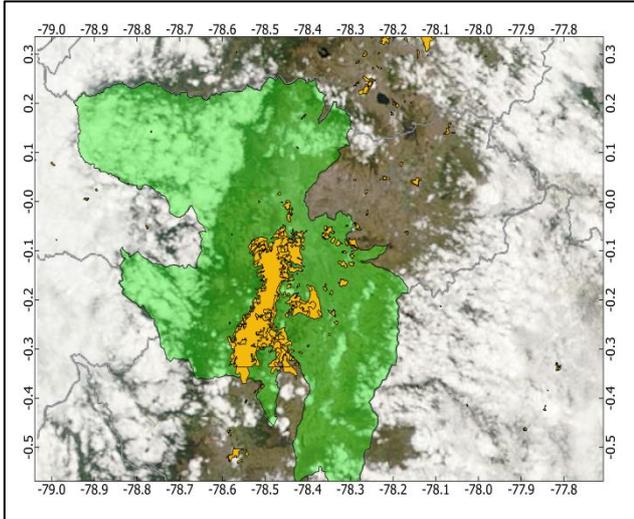
Horario probable de incendio en la mañana
Punto 1: 08h00 – 12h00

Horario probable de incendio en la tarde
Ninguno

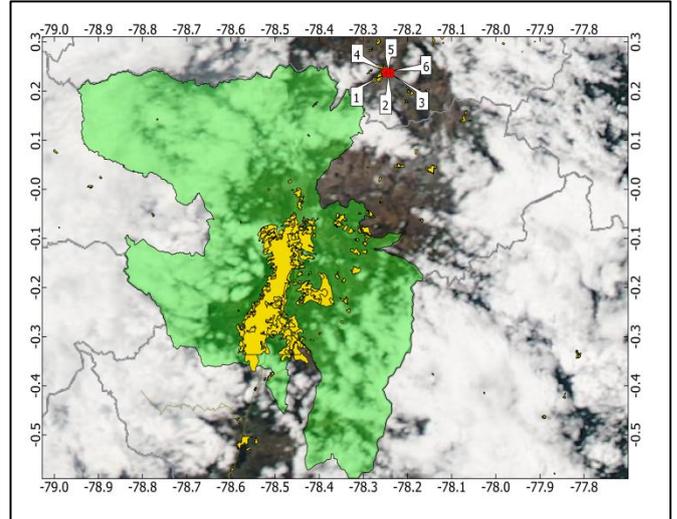
Fecha: 25/09/2015

Información de imágenes satelitales

MODIS Terra (10h30)



MODIS Aqua (13h30)



Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación

Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
1	12674	0.2338, -78.2521	Norte del Lago San Pablo
2	12675	0.2335, -78.2437	
3	12676	0.2339, -78.2353	
4	12794	0.2426, -78.2523	
5	12795	0.2422, -78.2440	
6	12796	0.2421, -78.2350	

Información del Cuerpo de Bomberos

Superficie afectada: 22.6 ha

Información de prensa

Un incendio forestal se generó en San Isidro del Inca el 25 de septiembre de 2015. Se controló el mismo día pero luego se reactivó el sábado 26. Según los moradores del sector, el incendio se reactivó a las 01h00 (El Comercio, 25 de septiembre de 2015).

Conclusión

La estimación a partir de las imágenes satelitales indica un total de 175 ha afectadas.

El Cuerpo de Bomberos indica 22.6 ha.

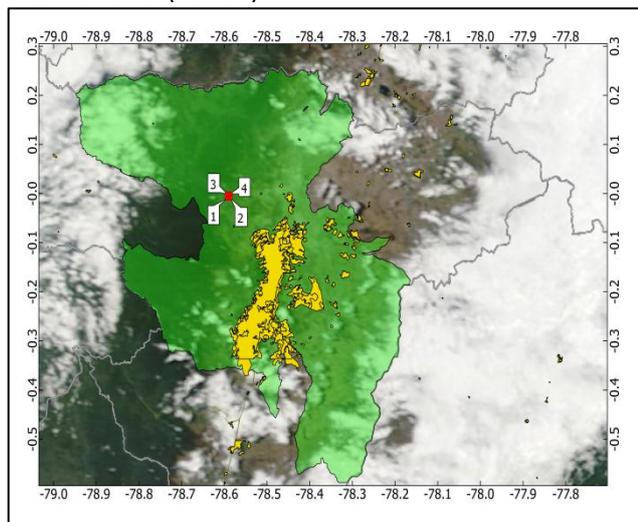
Horario probable de incendio en la mañana

Horario probable de incendio en la tarde
Puntos 1 al 6: 12h00 – 16h00

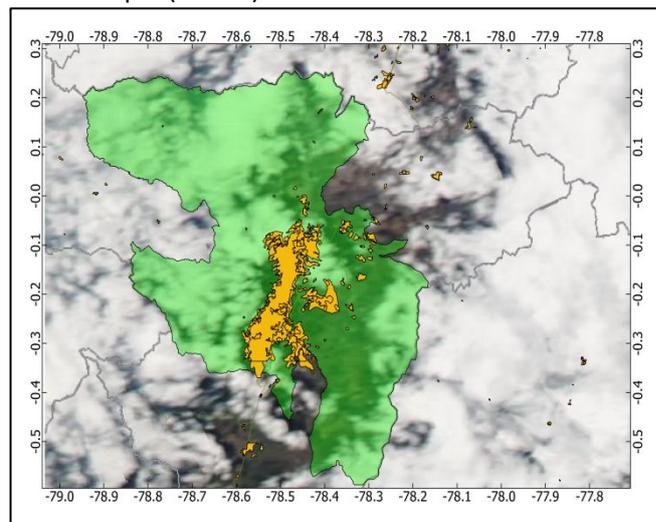
Fecha: 27/09/2015

Información de imágenes satelitales

MODIS Terra (10h30)



MODIS Aqua (13h30)



Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
1	9396	-0.0092, -78.5937	Alaspungo
2	9397	-0.0089, -78.5854	
3	9516	-0.0003, -78.5936	
4	9517	-0.0003, -78.5850	

Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación

Información del Cuerpo de Bomberos

Superficie afectada: 18.7 ha

Información de prensa

El 27 de septiembre de 2015 se registraron 11 conatos de incendio antes de las 17h00 (El Comercio, 27 de septiembre de 2015).

Conclusión

La estimación a partir de las imágenes satelitales indica un total de 106 ha afectadas.

El Cuerpo de Bomberos indica 18.7 ha.

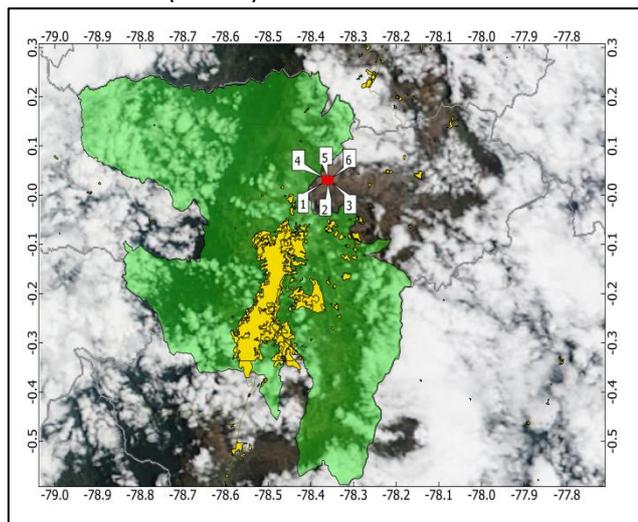
Horario probable de incendio en la mañana
Puntos 1 al 4: 08h00 – 12h00

Horario probable de incendio en la tarde
Ninguno

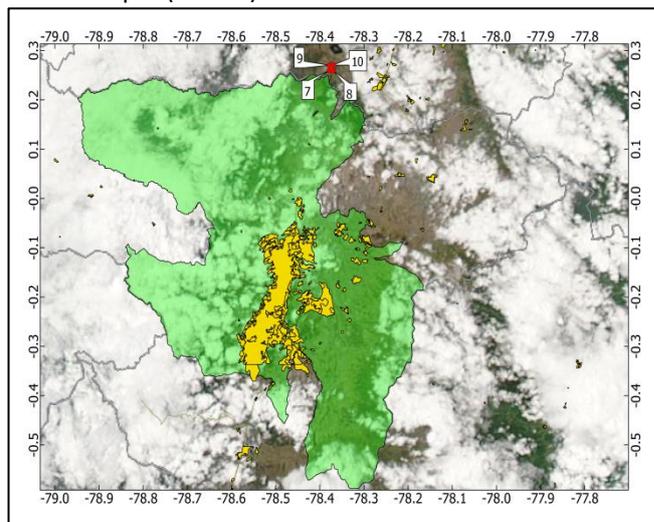
Fecha: 28/09/2015

Información de imágenes satelitales

MODIS Terra (10h30)



MODIS Aqua (13h30)



Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
1	9901	0.0268, -78.3689	Malchinguí
2	9902	0.0265, -78.3602	
3	9903	0.0266, -78.3512	
4	10021	0.0352, -78.3698	
5	10022	0.0352, -78.3602	
6	10023	0.0350, -78.3514	

Incendios identificados

Punto	Celda	Coordenadas	Ubicación
7	13020	0.2606, -78.3782	Sur de la Laguna de Cuicocha
8	13021	0.2605, -78.3695	
9	13140	0.2694, -78.3783	
10	13141	0.2691, -78.3696	

Información del Cuerpo de Bomberos

Superficie afectada: 15.2 ha

Información de prensa

Un incendio forestal se registró en Guayllabamba el 28 de septiembre de 2015. Inició a las 17h00 y se controló a las 18h38. Otro incendio se produjo en el norte de Quito, a las 15h00 (El Comercio, 28 de septiembre de 2015).

Conclusión

La estimación a partir de las imágenes satelitales indica un total de 354 ha afectadas.

El Cuerpo de Bomberos indica 15.2 ha.

Horario probable de incendio en la mañana
Puntos 1 al 6: 08h00 – 12h00

Horario probable de incendio en la tarde
Puntos 7 al 10: 12h00 – 16h00