

MODELAMIENTO DE LOS RIESGOS DE INCENDIOS FORESTALES: UN UNSUMO DE CONOCIMIENTO Y APOYO A LOS ANALISIS SECTORIALES

Realizado por: Jairo Estacio,
Apoyo espacial: Victoriano Villaruel

1. Introducción: Por qué profundizar en los estudios de incendios forestales en el DMQ?

La ocurrencia de eventos de incendios forestales y cobertura vegetal ocasionan problemas sobre los ecosistemas, infraestructura y espacios públicos (privados y sobre el ambiente). Dichos eventos se presentan de manera recurrente en la época de verano, meses de julio, agosto y septiembre. Se puede señalar que la pérdida de vegetación por eventos de incendios ocasiona impactos sobre especies endémicas, la capacidad de retención de humedad del suelo, purificación del aire, y pérdida de hábitats naturales, también se puede señalar los impactos hacia la población como son daños en infraestructura física (casas y cerramientos), daños a cultivos y medios de vida y daños a equipamientos estratégicos, antenas de telecomunicación, sistema de transporte de energía entre otros.

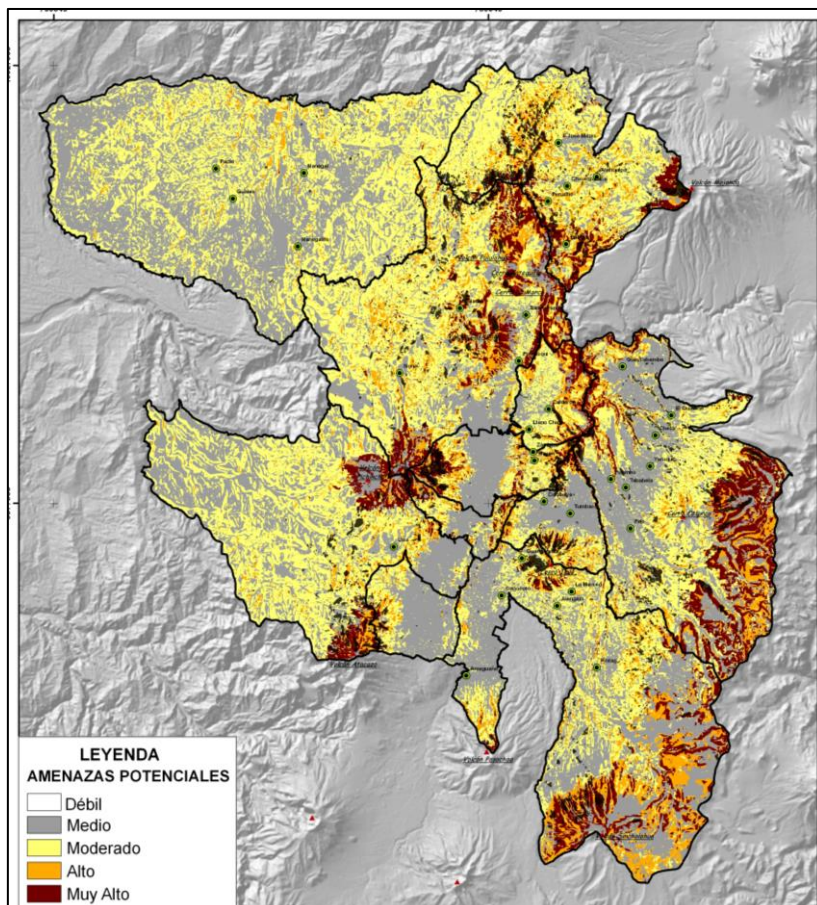
Frente a esta problemática en el año 2010 la Secretaria de Seguridad y Gobernabilidad y su Dirección de Riesgos y la Secretaria del Ambiente desarrollaron el proyecto piloto de “estimación de la susceptibilidad a incendios forestales en el DMQ”¹.

En el marco de este programa se elaboró un modelamiento espacial para la realización de un mapa de susceptibilidad del DMQ a incendios forestales”. Dicho modelo explica las zonas que son susceptibles a incendiarse por diversos criterios como son:

- Combustibilidad de la vegetación
- Biomasa de la cobertura vegetal
- Topomorfología de relieve de cultivos

EL mapa resultado de este modelo establece las zonas de vegetación que son propensas a sufrir incendios considerando factores básicamente biofísicos y emplazamientos topográficos de la cobertura vegetal (*figura 1*).

¹ En el marco del Proyecto de Sistemas de Información Geográfica de Gestión de Riesgos para el DMQ”, a cargo de la Secretaria de Seguridad y Gobernabilidad con apoyo de la Secretaria del Ambiente del MDMQ



Mapa 1: La susceptibilidad de incendios forestales en el DMQ

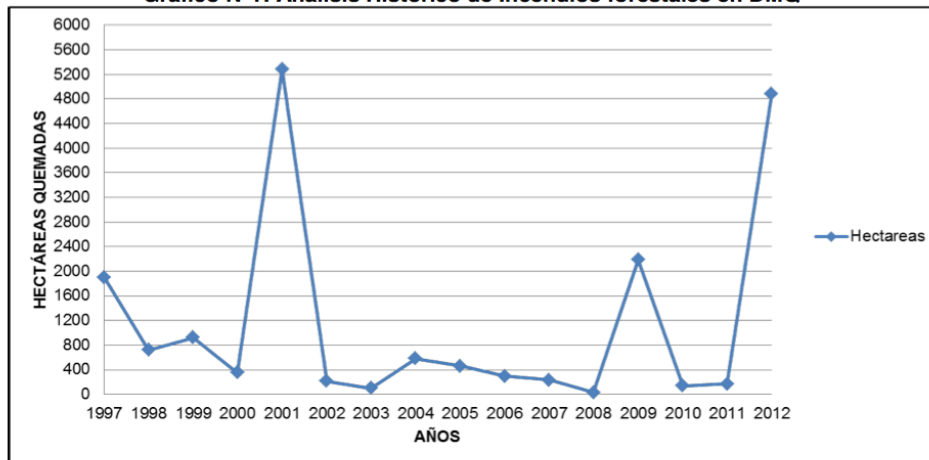
Fuente y elaboración : MDMQ-SA y SSyG 2010

Se debe considerar que la realización de éste insumo constituye una contribución importante para la gestión de riesgos en el DMQ y su utilidad es práctica para la prevención y la planificación de la emergencia y se ha constituido en una herramienta de gran utilidad para la Dirección de Riesgos y el Cuerpo de Bomberos de Quito.

La utilidad de este insumo se enmarca como apoyo para la prevención de la recurrencia anual de incendios forestales. Una observación en los últimos 15 años, evidencia que existe una elevada intensidad y cantidad de incendios suscitados. Si bien, comparando diversos años de recurrencia (2001 al 2009), en términos de superficie el área quemada no llegan en promedio al 1% anual del total de la superficie del DMQ (Unidad de Riesgos SSG, 2009); no obstante, lo que entra en juego de perderse corresponde a espacios de alta sensibilidad ambiental, de protección e interés que merecerían otros análisis más localizados. Dentro de esta óptica de análisis el nivel de consecuencias recobra un interés primordial. La pérdida de espacios estratégicos no es la única evidencia post-desastre, sino las consecuencias enfocadas en la salud, el funcionamiento y de desarrollo territorial del DMQ.

Asimismo es de considerar que existen años donde la presencia de incendios es mayor, marcando picos altos de recurrencia como los suscitados en el año 2001 y 2009 (Cuerpo de Bomberos de Quito, 2013) (Ver grafico 1). A estos años se suma, de manera reciente, la elevada presencia de incendios forestales suscitados en el año 2012, año considerado excepcional no solo por la cantidad e intensidad de incendios ocurridos sino por nivel el de consecuencias y daños provocados.

Gráfico N°1: Análisis Histórico de Incendios forestales en DMQ



Fuente: Estadísticas CBDMQ, Plan de prevención y respuesta para incendios forestales 2012

Los incendios presentados en el 2012 corresponden a un número casi similar al de los ocurridos en el año 2001. Bajo otra perspectiva, solo los incendios suscitados en el 2012 equivalen a alrededor del 46% de has quemadas que las del total registradas durante el periodo 2001-2011. Esto quiere decir que este año de incendios constituye casi la mitad del total de incendios registrados durante un periodo de 11 años, dejando al 2012 como un año de los de mayor impacto en cuanto a incendios forestales en el DMQ².

Frente a esta problemática es necesario contar con otro tipo de herramientas que coadyuven a las políticas de reducción de incendios de forestales. El conocimiento de las zonas de mayor susceptibilidad no son suficientes para generar acciones correctivas, pues permiten conocer solo las propiedades de inflamabilidad de la cobertura vegetal y su expansión, pero se desconocen otros factores relacionados con la influencia de las actividades antrópicas y del clima. Por ello, un nuevo estudio de riesgos que vincule de forma integral estas dimensiones en la génesis y desarrollo del incendio podría mejorar las acciones y planes de la municipalidad en materia de prevención y respuesta.

2.- El estudio de los incendios forestales: importancia de su comprensión en el marco del cambio climático

El cambio climático y su relación con los incendios forestales es una temática cada vez más preocupante a nivel mundial. Los incendios recurrentes en la región mediterránea europea, dieron como pauta a muchos debates sobre las variaciones climáticas y su influencia sobre la generación de incendios. Esto se debe a la constatación de las extremas temporadas de verano con días más secos y de elevada temperatura que afectan a la vegetación³. En otras partes del mundo como en Canadá las quemadas son cada vez más

² En el año 2012 se registran alrededor de 1073 incendios afectando entre propiedad pública una gran cantidad de vegetación natural importante para los ecosistemas y el bienestar de la población. Entre la vegetación más comúnmente afectada están pastizales, arbustos húmedos y secos y bosques húmedos (SA-MDMQ-2012).

³ Cada año se estima que suceden cerca de 50000 incendios recorren e 700000 a 1000000 de hectáreas de monte, produciendo elevados daños económicos y ecológicos e incluso pérdida de vidas humanas, (FAO, Departamento de Montes 1990), esta tendencia ha aumentado especialmente en Grecia donde ha pasado de 12000 has afectadas a los años 70 a 39000 en el 2011, en esta misma situación está Italia de 43000 a 118000, Marruecos, España la ex Yugoslavia (FAO, 2012)

consecutivas y de mayor intensidad sobretodo en los bosques canadienses suscitados en la región boreal del Oeste. Las interrogantes surgen cuando se han manifestado temporadas de alta sequedad y temperaturas más elevadas como eventos extraordinarios (denominadas olas de calor). Estas condiciones marcadas en cada época estacionaria podría aumentar los riesgos de incendios. Estos cambios de temperatura además pueden contribuir a la mortalidad de los arboles, reducir la resiliencia de las regiones madereras a estos eventos climáticos (como la sequedad) y generar factores de propagación de incendios.

Por ejemplo, los bosques del oeste del Canadá han sufrido condiciones de sequedad record últimamente. En el año 2001-2003 y en el año 2009, los episodios de sequia han causado una mortalidad y degradación forestal importante. Estas tendencias han continuado con el marcado descenso de la productividad forestal (Chan Randy, 2012)⁴. A estas condiciones se suma la fuerte presión que existe entre espacios antropizados con espacios naturales que generan otro factor de amenaza que podría afectar en la iniciación de los incendios. En efecto, el territorio analizado como un espacio elemental conlleva un sinnúmero de equipamientos, obras e infraestructura cada vez en expansión. La mancha urbana es un fenómeno mundial que marca un cambio de uso de suelo y la incorporación de hábitos culturales muchas veces iniciadores de incendios.

Frente a esta problemática mundial, el Ecuador también presenta algunas estadísticas de incendios suscitados aunque de forma muy dispersa. Por ejemplo, el informe de Evaluación de incendios forestales realizado en el 2012 por la SA, se menciona que el sur del país y en particular Loja han sido afectados por un gran sinnúmero de incendios. Desde el año 1981 hasta el años 1992 "(...) Loja registra 614 incendios, afectando una superficie de 10. 597,85 hectáreas, seguido de la provincia de Pichincha con 315 incendios y una superficie afectada de 1.235,39 hectáreas. En el año 2000, la provincia de Loja, registro 85 incendios que afectaron 4.884,49 ha.; en tanto que para el año 2001 la Unidad Operativa de Prevención y Control del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Quito, reportó 892 incendios afectando una superficie de 1.077 hectáreas" (SA, 2012). Es decir que la cantidad de incendios aumentó significativamente especialmente en Pichincha. La mayor cantidad de incendios registrados en Pichincha coincide con un año excepcional de sequia y temperaturas altas registradas durante los meses de julio a noviembre.

Otro año excepcional de mayor temperatura y sequia fue el 2012, donde Carchi, seguido de Pichincha fueron las provincias mas afectadas a nivel nacional. Entre estas dos provincias localizadas al norte del país registran alrededor del 50 % total del área quemada a nivel nacional.

Frente a estos hechos particulares, el DMQ, al ser parte de la provincia de Pichincha y presentar una extensa cobertura vegetal, no es la excepción. Como se mencionó anteriormente, el DMQ registró el año 2012 un año de extremas temperaturas y sequia provocando mayor propagación y duración de los incendios con consecuencias muy destructivas.

Con estos antecedentes, el presente estudio pondrá hincapié en el desarrollo de la comprensión de la dinámica de los incendios considerando variables antrópicas y climáticas.

⁴ Ponencia recogida como estudios de caso dentro del seminario "Prosperité Climatique, rapport Nro 5" a cargo de instituciones canadienses como TRN (table ronde Nationale sur L'environnement et l'economie) UNE Initiative Canadienne, 2012.

3. El proceso metodológico para la elaboración de los incendios forestales

Actualmente el DMQ cuenta con un herramienta de susceptibilidad a incendios forestales. No obstante, este insumo no puede ser considerado un *mapa de amenaza de incendios forestales* sino como de vulnerabilidad (susceptibilidad) de la vegetación del DMQ a sufrir incendios por factores intrínsecos y de localización. Para complementar este esfuerzo y en procura de generar una herramienta de ayuda a la planificación preventiva, se generó un mapa de *riesgos o peligros potenciales de incendios forestales*, que proporciona información sobre las zonas de presión antrópica o de iniciación del fuego y de propagación de los incendios considerando variables climáticas. Para este efecto, es necesario generar varios indicadores que ayuden a medir o estimar el fenómeno iniciación/propagación de los incendios y cuyo uso pueda ser replicado por los sectores relacionados con la gestión de riesgos del Distrito.

3.1 El proceso de construcción de conocimiento sobre los incendios forestales

Los argumentos para generar esta herramienta se basa en el manejo y control del fuego que la SA y de la Dirección de Riesgos (perteneciente a la Secretaria de Seguridad y Gobernabilidad del MDMQ) requieren para mejorar el conocimiento del comportamiento de los incendios en el Distrito y de esta forma priorizar las zonas donde se requiere reforzar las capacidades preventivas y operativas por parte de las entidades correspondientes.

Este insumo fue generado a partir de las siguientes preguntas y criterios socializados con los actores mencionados:

Cuadro 1: Preguntas guía de la investigación para incendios forestales

Preguntas destinadas	Descripción	Variables disponibles/necesarias	Estudio esperado
¿Cuáles son las zonas de mayor propagación del fuego?	Comprensión de la extensión y prolongación del fuego. Es un factor agravante del incendio	Promedio anual de temperatura y precipitación de los años 1960-2012 de los meses de junio- septiembre	Identificación espacial de las zonas de propagación
Cómo se relacionan las acciones antrópicas en la generación de los incendios	Comprensión de las zonas donde existe mayor presión e influencia antrópica hacia las zonas de incendios ocurridos.	Proximidad de asentamientos humanos a incendios ocurridos Tipos de cultivo que producen quemas Tipos de vías de acceso y proximidad a lugares de incendios Reurrencia de incendios	Análisis de la recurrencia de incendios en función de la influencia antropogénica
Cuál es el efecto de la variabilidad climática en el aumento de los incendios?	Simulación de escenarios futuros de incendios forestales para la planificación preventiva y acciones de adaptación frente al cambio climático	Promedio anual de meses de junio a septiembre de temperatura y precipitación proyectada al 2050 bajo condiciones extremas de temperatura	Análisis espacial comparativo proyectada a determinar si existirá aumento de incendio o no en condiciones extremas

Estas preguntas fueron validadas en el marco de las reuniones técnicas sostenidas con los actores pertenecientes al “sector riesgo”. A través del uso de las HCP (Herramientas de

conocimiento participativo)⁵ se generó una “matriz necesaria” indispensable para la construcción de conocimiento participativo.

3.2 La generación de un modelamiento espacial para la determinación del riesgo por incendios forestales

Ha que precisar que para que se produzca un incendio se requiere de un punto de iniciación de fuego o de ignición. Además, es de recalcar que mientras existan zonas de propagación, zonas propensas a incendios y elementos expuestos existe un riesgo potencial (lo que muchos autores denominan también peligros de los incendios forestales hacia zonas vulnerables).

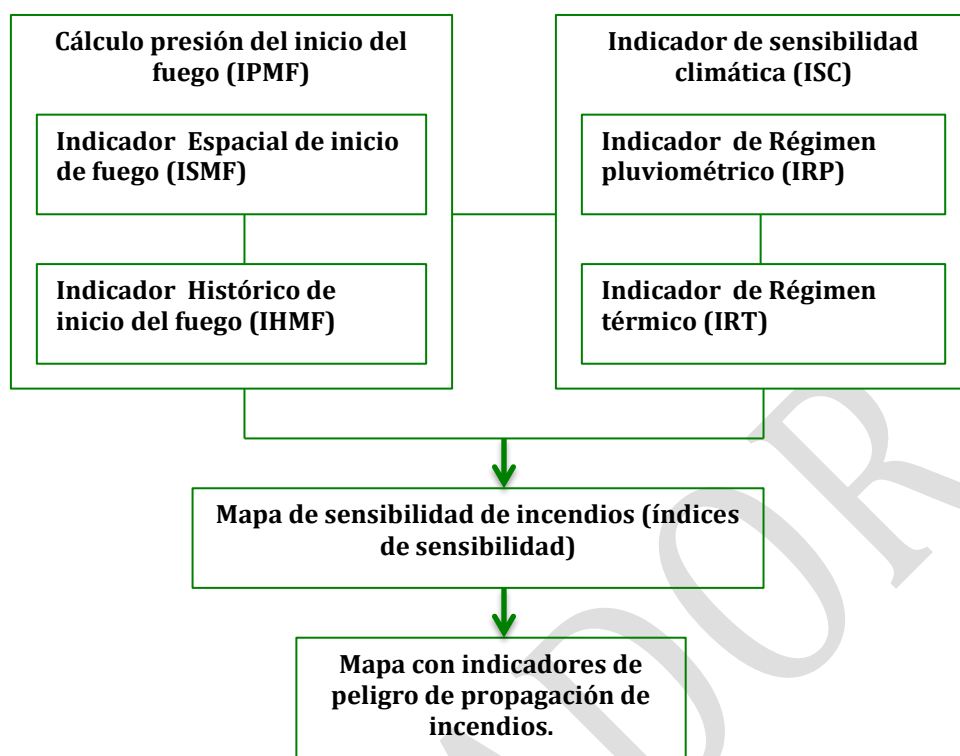
En los de incendios forestales el “riesgo y el peligro” son a menudo utilizados para aludir a la misma cosa. Además el concepto de riesgo de incendios se utiliza para referirse a zonas expuestas (personas, infraestructura, ecosistemas..) o para determinar la probabilidad del incendio o su capacidad de propagación (peligro). En este caso, el producto obtenido de este modelo se referirá a peligros o riesgos de incendios forestales pues alude tanto a criterios de propagación como de “iniciación” del fuego.

Para la realización del mapa de riesgos de incendios forestales, se consideró como referencia la metodología propuesta por el Grupo Salamandra compuesto por actores responsables y científicos en materia de incendios de protección contra los incendios forestales de España y Los Pirineos Franceses ⁶. El *esquema 1* muestra el proceso global para la estimación del mapa de peligros relacionados con incendios forestales en el DMQ.

⁵ Mas referencia mirar el WP2 y Wp3 relacionados con los lineamientos metodológicos del proyecto.

⁶ Trabajo realizado por Jean Francois Galtie Geode-UMR5602 CNRS, Université de Toulouse 2 y Serge Peyre, Sindicato de Propietarios Forestales y Silvicultores de los Pirineos. Trabajo denominado “Contribución Metodológica al Diagnóstico, la Divulgación y el Tratamiento del Riesgo Socioeconómico de Incendios de la Vegetación en la Región Mediterránea”, enero, 2003, Grupo Salamandra Nro. 42.

Esquema 1 : Proceso de construcción del modelos de riesgos de incendios forestales



Fuente: Jairo Estacio SEI, 2014

3.3 Estimación de los criterios e indicadores para el modelo de incendios.

El desarrollo del modelo de peligro de incendios forestales parte de adaptar una metodología de incendios del mediterráneo europeo al escenario de Quito considerado a una escala local y con condiciones de clima diferentes. Estos ajustes han sido corroborados con expertos del Municipio en cuanto al conocimiento de los incendios, el clima y la vegetación en el territorio. Igualmente se ha adaptado la información disponible para el cálculo de indicadores en el modelo, siempre y cuando éstos garanticen una confiabilidad de los resultados ajustados coherentemente a la realidad del DMQ. De todas formas el generar un “modelo” siempre genera algún grado de incertidumbre. Ninguna metodología de cálculo es una receta única que permite llegar al 100% de la verdad en sus resultados. Es decir, se pueden aplicar siempre nuevos enfoques y formas de determinar los incendios y cada uno podría aportar resultados diferentes. Por ello este modelo es perfectible y puede ser mejorado con nueva información y enfoques complementarios por los actores responsables de su manejo. Su valor principal radica en constituir un primer insumo de conocimiento a la escala Distrital y su gran aporte para la gestión de riesgos de incendios forestales en el DMQ.

Como se describió en *el esquema 1*, se han elaborado algunos indicadores que se explican a continuación:

3.3.1 Cálculo de la presión de inicio del fuego (IPMF)

Este cálculo permite identificar los puntos o zonas que contenidamente ejercen presión antrópica y por ende, una zona potencial de iniciación de fuego. Se trata de identificar la influencia de los lugares donde existen actividades antrópicas hacia los sitios de recurrencia de incendios. Para ello, se determina la sensibilidad del contorno de una zona

o segmento determinado como “inicio potencial” de los incendios. La determinación de este cálculo necesita:

Un indicador espacial de inicio de fuego (ISMF): Se trata de entender la presión e influencia que ejercen las actividades antrópicas en las zonas donde se han constatado incendios a lo largo del tiempo. En el siguiente cuadro se describen los espacios antrópicos seleccionados para este cálculo (*ver anexo 1* cartográfico de mapas base considerados para este tratamiento):

Cuadro 2: Espacios antrópicos considerados como de presión e influencia a incendios

Espacios antrópicos considerados	Variables espaciales	Explicación
Asentamientos Humanos y poblados	Evolución de la mancha urbana 2012 PUOS (Zonas de usos y ocupación de suelo) 2013	La presencia de asentamientos humanos y poblados cerca de incendios suscitados presenta una influencia antrópica por las actividades que se generan y que podría ejercer puntos de ignición
Redes viales	Vías principales transitadas (primero y segundo orden) Caminos y senderos de montaña	La presencia de movilidad humana en las vías de proximidad y acceso a zonas donde han existido incendios potenciales ejerce un principio de presión y potencial iniciación de fuego
Cultivos	Zonas de cultivo de preferencia maíz y de ciclos corto	Las prácticas tradicionales relacionados en la quema de residuos de los cultivos constituyen un factor crítico en la iniciación de incendios.

Fuente: Equipo SEI, SA-MDMQ, adaptado metodología grupo Salamanca, 2012

El cálculo de la influencia se basa en la proximidad entre los diferentes elementos que representan una actividad antrópica con las zonas de incendios recurrentes.

Para este cálculo se ha considerado una franja de amortiguamiento alrededor de los sitios donde existe actividad antrópica. Los criterios para delimitar estas zonas son los siguientes:

- Las franja de protección de las zonas habitables y de actividades humanas a los incendios forestales: Para incendios puntuales a escala local, la franja considerada máxima oscila de 100 a 200m (en este estudio considerada de 200m). Esta franjas de amortiguamiento obedecen a criterios aceptados mundialmente por motivos técnicos. Se considera que en zonas de 200 m existen posibilidades de confinamiento y/o autoprotección⁷. En cambio, una zona critica es considerada de 0 a 50 m donde existe peligro de elevada propagación y radiación térmica.
- Las franjas de protección de los recursos naturales y forestales. Si bien en el país no se establece con exactitud las zonas permisibles para actividades antrópicas desde las áreas protegidas o forestales, la Ley Sectorial de Áreas del Ministerio del Ambiente señala en sus artículos relacionados a *paisajes protegidos* una distancia aproximada de 250 m de retiro para carreteras y cotas de 200 m para centros poblados. A partir de estas distancias se estimaría que se ejerce una presión en los recursos naturales protegidos establecidos. En la bibliografía internacional encontrada como la del estudio de Salamanca se estima que en estas distancias pueden generarse desbrozos

⁷ Es difícil expresar zonas de protección debido a la diversidad y el tamaño de la vegetación y las condiciones predictivas locales (régimen de turbulencia, incendios secundarios, etc). Normalmente se estima de forma determinista las distancias considerando limites máximo de seguridad. Para le flujo de energía térmica determinado distancias de 100 a 200 m son suficientes. No obstante para pavesas dispersas por acciones del viento, al experiencia indica que pueden realizarse zonas en orden de kilómetros. (López Z (2004), *Estudio de características físicas y geométricas de la llama de los incendios forestales*, Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña, Dto de Ingeniería Química)

reglamentarios ampliados y en distancias de 50 m desbrozos obligatorios.

Con estas consideraciones, para efectos de este estudio se ha considerado el umbral de amortiguamiento máximo de 200m. Esto significa que en zonas menores de 200m no se deberían desarrollar actividades antrópicas, pues son consideradas zonas de protección. Bajo otra perspectiva, el desarrollo de actividades antrópicas en estas zonas pueden ejercer una presión hacia la vegetación y zonas forestales y ocasionar daños entre ellos puntos de ignición de incendios.

Para el cálculo de las zonas de presión o de “iniciación del fuego”, en el *cuadro 2* se han considerado las distancias de los lugares de actividad antrópica con las zonas de recurrencia de incendios. Estas zonas son determinantes para la presión antropogénica y están dadas por la proximidad de las vías de comunicación, zonas de actividad agrícola y la proximidad de lugares habitados. Los espacios críticos se representan mediante *fajas de presión*⁸.

Cuadro 3. Estimación de zonas de presión de incendios en el DMQ.

ISMF Distancia de referencia a las vías o centros poblados (m) a lugares de incendios	Recurrencia de incendios (número de incendios producidos por sitio en los años 1991, 1998, 2001, 2009, 2012.2013)	Fajas de presión (m)
0-15	1 incendio ocurrido	70
	2 incendios ocurridos	80
	3 incendios ocurridos	90
	Mayor a 4 incendios ocurridos	100
15-50	1 incendio ocurrido	40
	2 incendios ocurridos	50
	3 incendios ocurridos	60
	Mayor a 4 incendios ocurridos	70
50-100	1 incendio ocurrido	10
	2 incendios ocurridos	20
	3 incendios ocurridos	30
	Mayor a 4 incendios ocurridos	40
100-200	1 incendio ocurrido	7
	2 incendios ocurridos	8
	3 incendios ocurridos	9
	Mayor a 4 incendios ocurridos	10
Mas de 200	Cualquier incendio ocurrido	Menor a 7

Fuente: Equipo SEI, 2014 adaptado de metodología Grupo Salamanca.

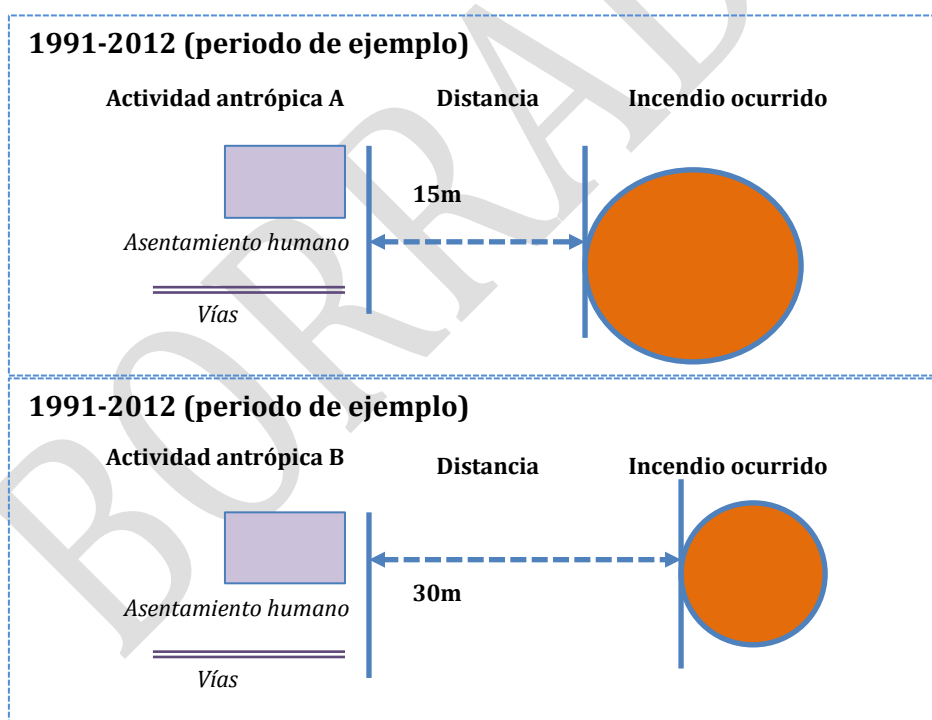
Para el cálculo de las *fajas de presión*, se ha realizado un análisis espacial relacionando los lugares donde existe un nivel de recurrencia de incendios con las distancias próximas a los lugares de actividad antrópica (centros poblados, vías y cultivos ciclo corto proclives a realizar quemadas), dentro de una zona de amortiguamiento de 200m establecido como umbral de protección. Mientras mas alta es la recurrencia de incendios en un lugar (mayor a 4 incendios por ejemplo) y menor las distancias desde estos lugares a los sitios donde existen actividades humanas, mas alta es la influencia y la presión antropogénica, por lo tanto las fajas de presión son elevadas (el máximo es de 100m). Al contrario mientras es menor la recurrencia en un lugar (un solo incendio por ejemplo) relacionada con distancias mayores a los sitios de actividad humana la faja de presión disminuye. Para el caso del DMQ se ha considerado los incendios producidos en 6 periodos claves y de los

⁸ Los estudios sobre la relación actividad antrópica/incendios, son empíricos y basados en experiencias espaciales sobre su ocurrencia. Por ejemplo en el caso de los Pirineos e incendios del Mediterráneo de 766 incendios registrados entre el periodo 1992 y 1999, se menciona que al menos 75% se declaran entre 15 y 50 metros de una vía transitable y a mas de 50 metros de un lugar habitado. Esta referencia y otras relacionadas con las distancias son considerados criterios importantes para este cálculo. Estadísticas similares son mencionadas en los incendios de la zona boreal de Canadá.

cuales hay registros a partir de un modelamiento espacio-temporal de ocurrencia de incendios. Estos años son 1991, 1998, 2001, 2009, 2012, 2013 (ver anexo 2) . A partir de estas fechas se ha contabilizado por zonas la recurrencia de los incendios forestales. Sobre el total de recurrencia por zona se han realizado un análisis espacial observando la distancia de influencia de los elementos antrópicos ya mencionados.

Por ejemplo, en un zona identificada con actividad antrópica “A” (digamos un asentamiento humano), se ha establecido que a una distancia de 13 metros existió aproximadamente una recurrencia de 5 incendios durante el periodo 1991- 2013. Por lo tanto, existe elevada presión antrópica hacia las zonas incendiadas. Para este caso, observando el cuadro precedente, se ha establecido un valor de presión de 100 m, esto quiere decir que existe una elevada influencia y por ende una “iniciación potencial” de incendios. Por otro lado, si otro asentamiento humano “B” ha establecido una recurrencia de 2 incendios en el periodo 1991-2013 a una distancia de 70m, la presión antrópica o de “iniciación de fuego” presentaría una tendencia baja (franja de presión de 20m). En otras palabras mientras las zonas pobladas, vías transitadas y actividades agrícolas (relacionadas con quemas) presenten valores de presión elevados, mayor es la recurrencia y su influencia a los eventos registrados.

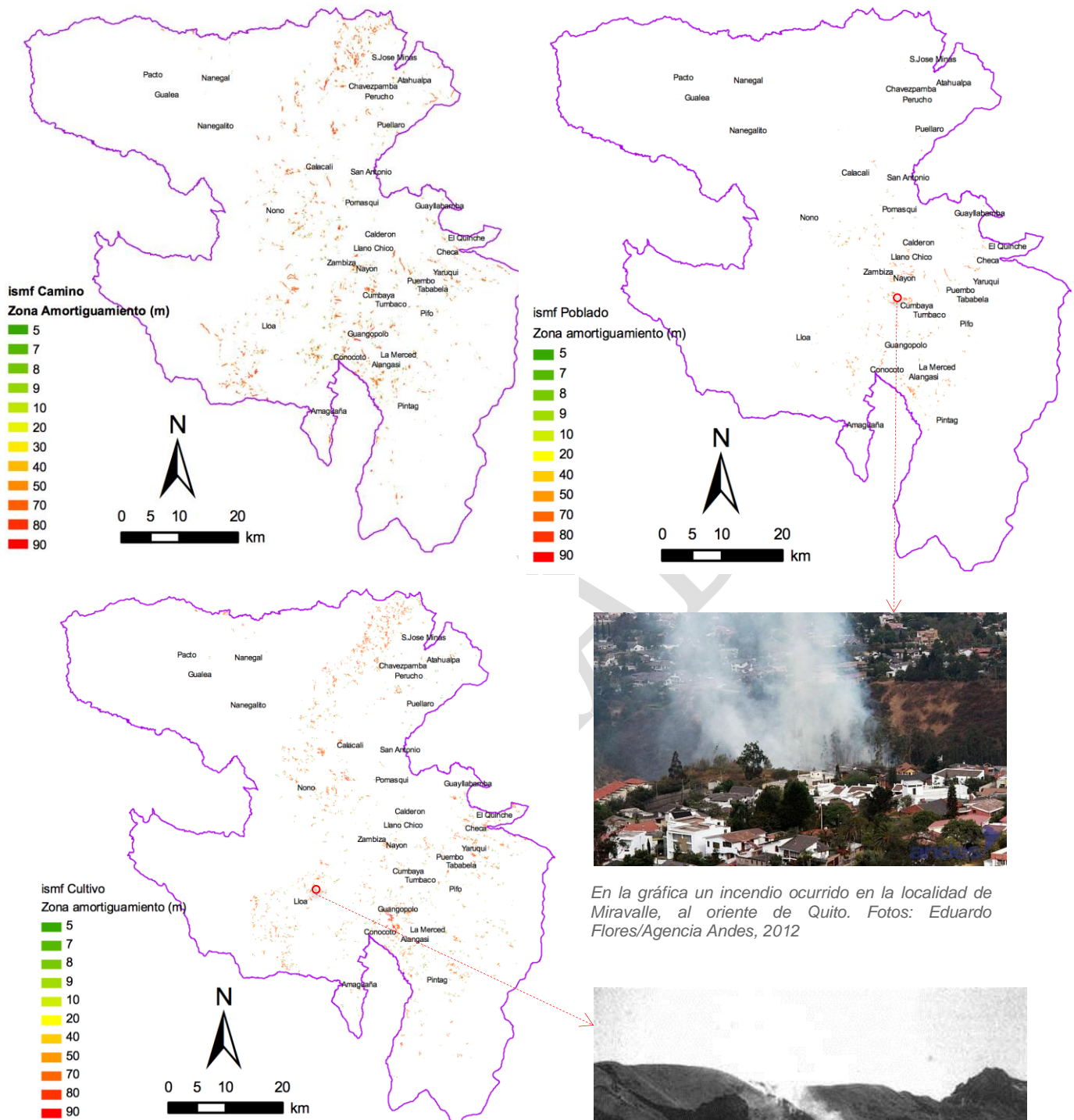
Esquema 2: Representación de las distancias de presión de actividades antrópicas con incendios ocurridos



Fuente y realización Equipo SEI 2014

El resultado de los cálculos de las zonas de presión para el DMQ, se puede apreciar en el siguientes mapas:

Mapas 2: Resultados cartográficos del cálculo de incendios ISMF para cada variable de actividad antrópica



Incendios causados por quema de cultivos en el suroccidente de Quito. Proyecto Shishilad EPMAAPS-Q-IRD, fuente FAO, 2002

Con el cálculo del “Indicador espacial de inicio del Fuego” (ISMF) se cruzará con otros indicadores como el Indicador histórico de inicio de fuego (IHMF) para obtener un modelamiento preciso son la presión de inicio de fuego.

El indicador histórico de inicio de fuego (IHMF): Este indicador considera a más del número de eventos ocurridos la superficie de los mismos. Mientras más elevada es el área de los eventos ocurridos mayor es su nivel de gravedad y consecuencias.

Con esta información, se ha realizado el Cálculo de Presión de Inicio del Fuego (IPMF). Este cálculo parte de relacionar los datos obtenidos ISMF (fajas de presión establecidos por rangos) con los datos obtenidos IHMF, medido a partir de la ocurrencia de incendios por hectáreas. Las superficies de los incendios ocurridos se inician a partir de 0,5 has, ya que según los reglamentos del MDMQ y Cuerpo de Bomberos, es a partir de ésta área que se consideran *incendios forestales*. Para el caso del DMQ se realizará a partir del histórico de incendios 1991 al 2013.

A continuación se puede observar el criterio asociativo de los dos indicadores (ISMF e IHMF) y su ponderación estimada de acuerdo a la relación entre *rango de presión-superficie quemada recurrente*. Esto quiere decir que mientras mayor es el indicador espacial de inicio de fuego (medido a través de mayor faja de presión) y su relación con grandes superficies quemadas (medidos en Has), mayor es la presión antropogénica potencial de inicio de fuego (IPMF).

La pregunta que guía este análisis parte de conocer la gravedad de las zonas de presión antrópica a partir de criterios de influencia/recurrencia/consecuencias ocurridas.

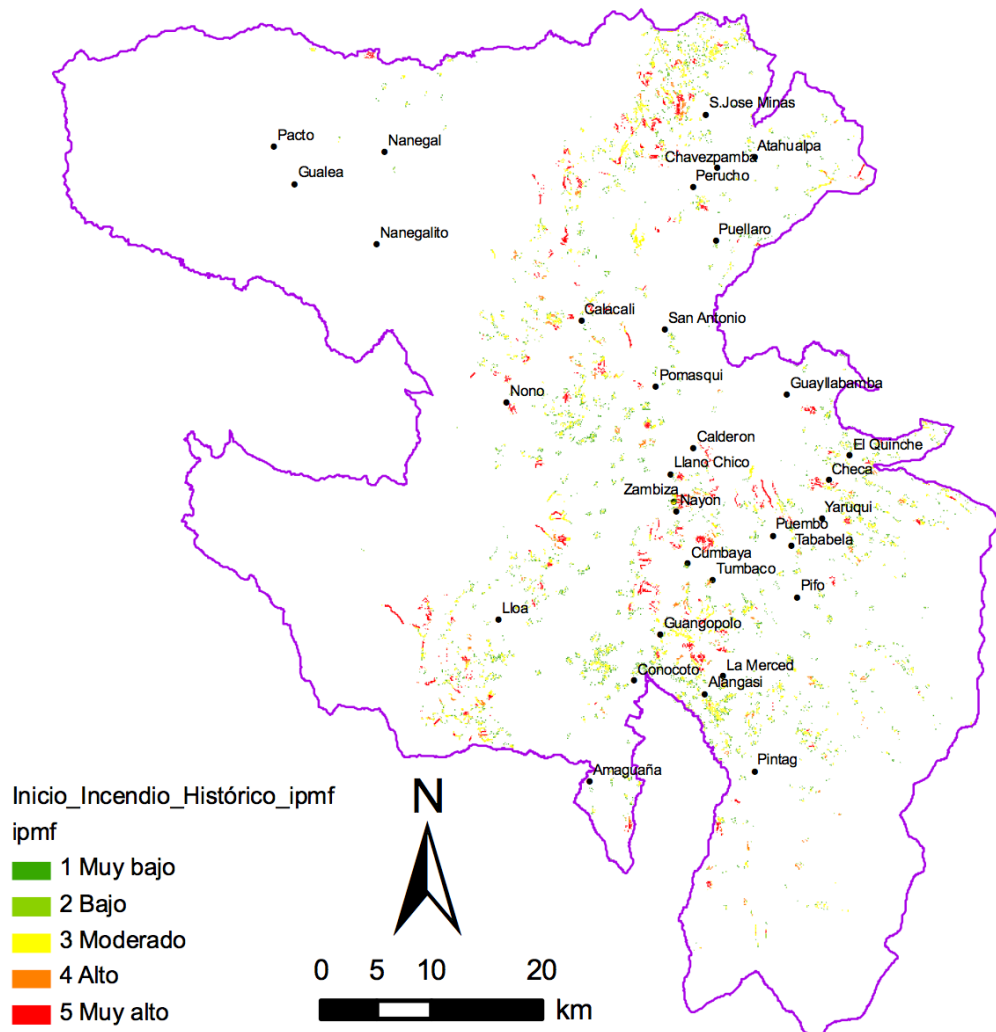
Cuadro 4: Cálculo de Presión de Inicio de Fuego IPMF

ISMF (rangos de presión, m)	Registro histórico de incendios (ha) (IHMF)				
	0,5-2	2-5	5-10	10-20	Mayor a 20
Menor a 7	1	1	2	3	3
7-10	1	1	2	3	4
10-40	1	2	3	4	5
40-70	2	3	4	5	5
70-100	3	3	4	5	5

El resultado de la aplicación de este modelo, da como resultado un mapa de niveles de *presión antrópica* sobre las *áreas de incendios forestales recurrentes*. En el cuadro 4 se califica de 1 al menor grado de presión y 5 al mayor grado de presión. Por ejemplo, si se considera el ejemplo del *esquema 2*, para un lugar donde se realizan actividades antrópicas (A) cuya faja de presión es de 100m relacionadas con áreas de incendio ocurridas mayores a 20 has, sus niveles de presión y gravedad son elevados (5).

El mapa a continuación refleja este resultado obtenido:

Mapa 3: Cálculo de la presión de inicio del fuego considerando la superficie de áreas quemadas recurrentes



3.4 Escenarios para el cálculo de un Indicador de sensibilidad climática (ISC): factor de propagación

3.4.1.- La información climática considerada para la propagación de incendios

Este cálculo determina la influencia del clima en las zonas de presión antrópica de fuego y zonas de recurrencia de incendios y a fin de definir las zonas de propagación de los incendios forestales. Si bien no es un análisis exhaustivo, pues en algunos modelamientos y bibliografía técnica sobre el tema, se mencionan a “los días secos consecutivos” como un factor climático importante en la propagación de incendios. No obstante, al no existir esta información a una escala Distrital, se ha escogido las variables de la precipitación y de temperatura aplicada en los meses de verano (junio, agosto septiembre) que presenta el Distrito. Al respecto los datos del CLIMDEX (Climate Extremes Indices) para el DMQ ofrecen datos de Escenarios de Cambio Climático pero que presentan limitaciones para

sus uso⁹ y la ausencia de indicadores específicos para este ejercicio.

Los datos climáticos considerados para este análisis corresponden al modelo climático a partir de los modelos globales- Worl Clim, (GCMs Climate Model Intercomparison)¹⁰. Este modelo presenta los datos de precipitación y de temperatura considerados para los meses de junio, agosto y septiembre para el periodo 1960-2012 y de una proyección climática del 2010- 2050 para observar las tendencias de propagación a futuro¹¹.

3.4.2.- El cálculo del indicador de sensibilidad climática

Si bien en la propagación de un incendio intervienen varios factores como la topografía y la combustibilidad de la vegetación¹², la temperatura tiene un rol importante. Según aumenta la temperatura, la combustibilidad es mayor, debido a que el combustible forestal se seca rápidamente, favoreciendo su ignición y activando su posterior combustión. Al contrario, la precipitación ayuda al incremento de la humedad del suelo y del aire lo que provoca una menor velocidad de propagación de los incendios forestales.

El Indicador de sensibilidad esta compuesto de:

Un indicador de Régimen Pluviométrico (IRP) Definido a partir de datos de precipitación medias anuales en los meses de julio-septiembre de los últimos 52 años aproximadamente.

Un indicador de Régimen de Térmico (IRT) Definido a partir de los datos de temperaturas medias anuales de los mismos meses de los últimos 52 años aproximadamente.

Se ha estimado los meses de julio, agosto y septiembre (JAS) por ser los meses de verano y de mayor recurrencia de incendios forestales en el DMQ y los últimos 52 años de registros climáticos de temperatura y precipitación para observar las tendencias de mayor temperatura y humedad y su relación con la superficie de ocurrencia de incendios forestales. Por ejemplo se mencionan años excepcionales por la severidad de los incendios como el del año 2012¹³. Sin duda, que esta aproximación podría ser mejorada ajustando mas información de registros de incendios anteriores a la década de los 90's, periodos que lastimosamente no cuentan con registros fiables e información contrastable.

⁹ Se ha utilizado Modelo Japonés TL959 y modelos por el CRU (Climate Research Unit) de la Universidad de East Anglia de Reino Unido.. El periodo de control estudiado está comprendido entre Enero de 1979 y Diciembre del 2000 para el caso de precipitación y entre Enero de 1979 y Diciembre del 2002 para el caso de temperatura. No obstante, existen limitaciones pues aun no ofrece una resolución lo suficientemente buena para reconocer los distintos microclimas del Distrito Metropolitano de Quito. Por otra parte el modelo no considera adecuadamente la variabilidad climática natural, toda vez que se ha suscrito la evolución de la temperatura de la superficie del mar, de modo que se trata de un experimento numérico con importante énfasis en el forzamiento por gases de efecto invernadero (escenario A1B [22]).

¹⁰ Para el caso específico del DMQ se ha establecido el CMIP5 (coupled model Intercomparison Project) incluidos en los datos de América del Sur. Una de las salidas de este modelo permite la simulación del clima para adaptarse al forcejeo climático, tales como el dióxido de carbono atmosférico.

¹¹ Los diferentes modelos climáticos corridos del *world clim*, recoge 4 modelos globales con 1Km de resolución para el cálculo de la temperatura y precipitación media anual y mensual Con estos datos se han realizado valores históricos con promedios desde el 1960 a 1990 y se han interpolado nueva información de estaciones meteorológicas del DMQ e INAMHI a estimaciones hasta el año 2010. Con los datos de los 4 modelos corregidos se realizó una proyección del clima al 2050 en situaciones extremas de aumento de CO2. (alto escenario de carbón atmosférico RCP 8,5).

¹² Estos factores fueron considerados en el modelamiento de la "susceptibilidad de la cobertura vegetal del DMQ a incendios forestales" realizado en el 2011 por el MDMQ. El resultado cartográfico de este modelamiento será considerado por este estudio para el cálculo final del riesgo de incendios forestales del DMQ.

¹³ Estas tendencias de humedad/sequedad también afectan la sensibilidad de la cobertura forestal. Muchas especies mueren y producen mayor cantidad de biomasa considerado un factor de sensibilidad a los incendios forestales.

A partir de obtener la información requerida se realiza un cruce de la información pluviométrica y térmica total de las medias anuales, tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 5: Estimación del indicador de Sensibilidad Climática para el DMQ*

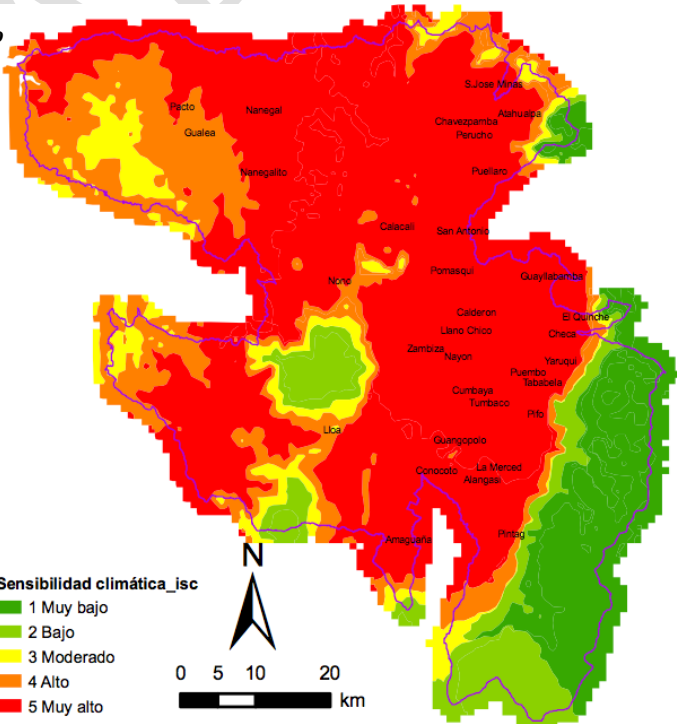
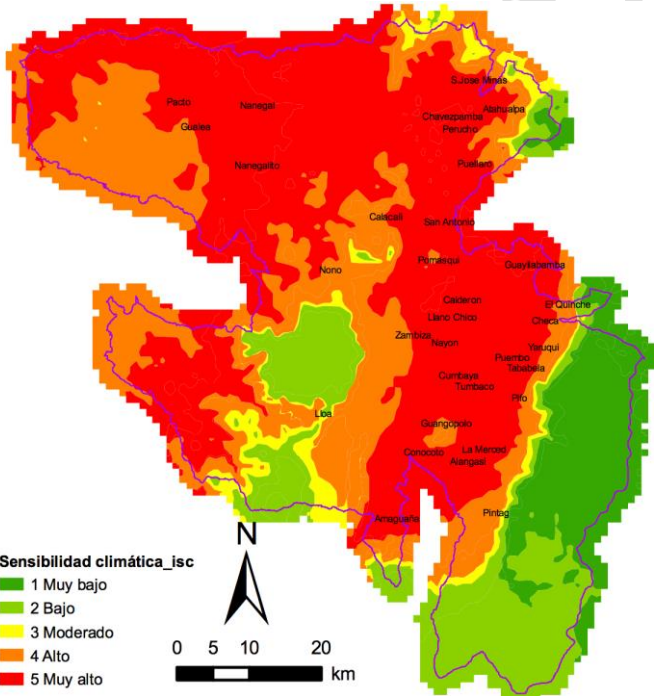
IRP (mm)	IRT (C)				
	Menor a 8	8-10	10-12	12-14	Mayor a 14
Mayor 100	1	1	2	3	3
75-100	1	1	2	3	4
50-75	2	2	3	4	5
25-50	2	3	4	4	5
Menor a 25	3	3	4	5	5

*Los criterios de este cuadro se aplicarán por cada año y al final se hará una sola matriz promedio de los 52 años.

Los criterios que permiten determinar esta sensibilidad climática para los incendios forestales, se define en niveles de 1 a 5. Para el nivel 1 significa que las condiciones climáticas son muy bajas para un nivel de propagación de fuego (condiciones de bajas temperaturas con mayor precipitación registrada), debido a las tendencias de humedad con temperaturas bajas. Al contrario, el nivel 5 hace referencia a condiciones climáticas favorables para un nivel de propagación elevado (condiciones de altas temperaturas con poca precipitación), esto produce condiciones de sequia y épocas de calor.

Aplicando cada escenario se obtuvo la siguiente cartografía que se expone a continuación:

Mapa 4: Sensibilidad climática para el DMQ considerando los últimos 52 años bajo condiciones de variación climática observadas en los años 1960 y 2012.



Mapa 5: Sensibilidad climática para el DMQ considerando los últimos 12 años bajo condiciones de variación climática observadas en los años 2010-2050

3.5. Escenario de peligro de incendios forestales en el DMQ

Para realizar este modelo es necesario considerar dos variables importantes que son:

- Un cálculo de amenaza de incendio forestal.
- La susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios forestales.

Ambos indicadores son importantes para el modelamiento espacial a fin de obtener el mapa de peligro/riesgo de incendios forestales (el esquema 3, muestra el proceso cartográfico realizado para alcanzar este resultado). Para este propósito se ha considerado la definición aceptada de riesgo, entendida como el producto de la vulnerabilidad estimada por niveles de susceptibilidad de un elemento y la amenaza presentada por niveles de intensidad, como se desarrollará más adelante.

3.5.1.- Estimación de la amenaza de incendios por presión antropogénica (iniciación) y propagación (AIP).

Esta variable se calcula a partir de un cruzamiento de la cartografía obtenida del cálculo de presión de iniciación de fuego y del Indicador de sensibilidad climática (tanto para presente como para futuro). El resultado ayuda a comprender los lugares donde además de presión antropogénica existen tendencias elevadas de propagación (ver Esquema 3)

Para lograr este cálculo se ha propuesto la siguiente ecuación:

$$AIP: \sum 0.40(IPMF), 060(ISC)$$

Este cálculo conlleva un factor de peso ponderado hacia el índice de sensibilidad como factor desencadenante de la gravedad de los incendios seguido a un factor de iniciación. El resultado de este análisis constituye el primer mapa que otorga una información sobre los factores de amenaza potencial de incendios.

3.5.2 Cálculo mapa del riesgo de incendio por inicio y propagación (RIF)

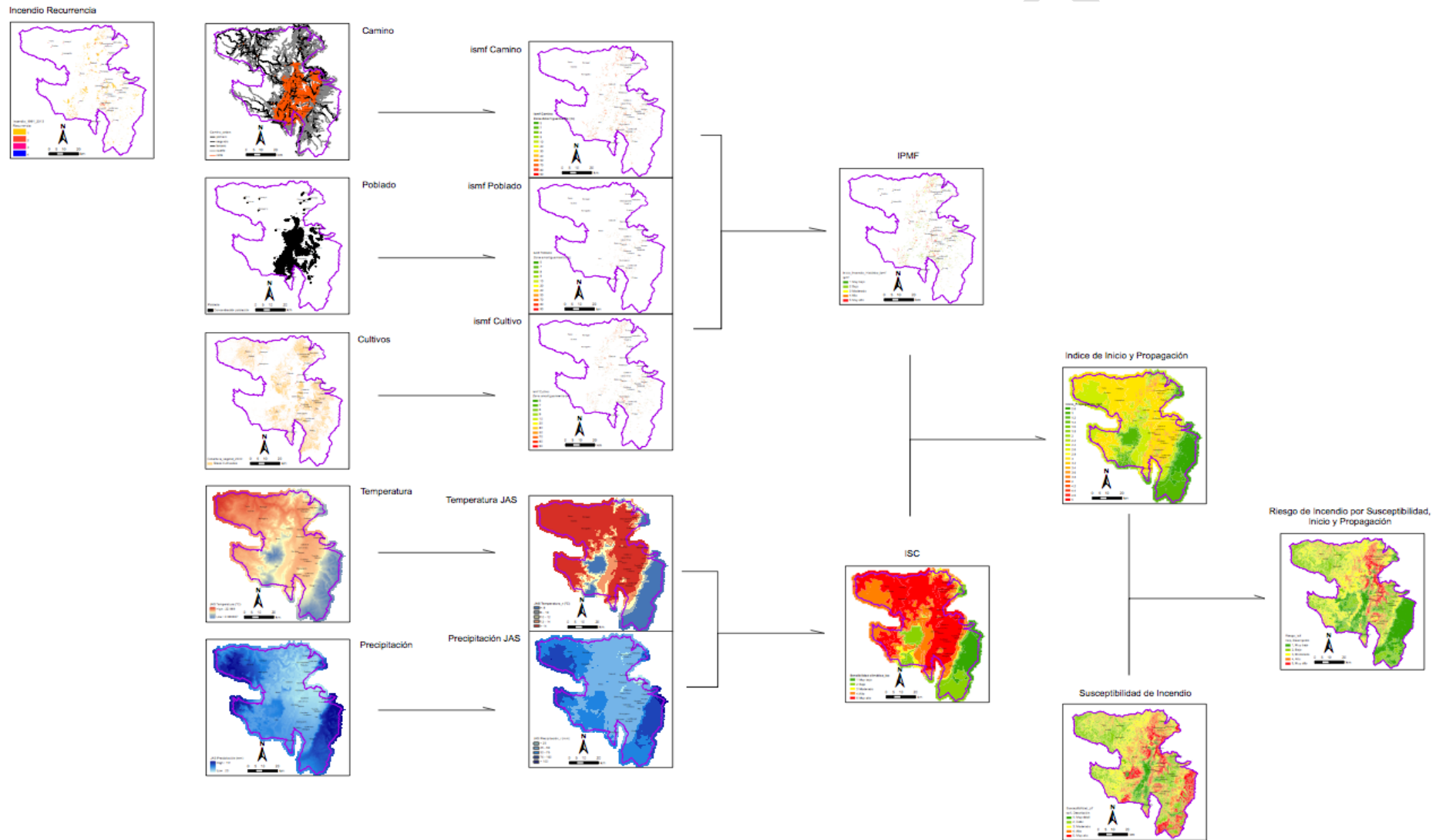
Este análisis (RIF) se calcula a partir de los índices de *amenaza de incendio por iniciación y propagación (AIP)* con los índices de *susceptibilidad de la cobertura vegetal* obtenido de la Secretaría del Ambiente en el DMQ.

El riesgo de un incendio esta dado por factores de combustibilidad de la vegetación, su localización topográfica, el clima, la influencia antrópica. El mapa de "susceptibilidad de incendios forestales del DMQ" realizado en el 2011, incorpora los factores de combustibilidad y topografía. El mapa de "amenaza" (AIP) considera el clima (factor que ayuda al a propagación) y la influencia antropogénica. Por lo tanto, la relación para este análisis es el siguiente:

$$RIF: Amenaza\ iniciación-propagación * Susceptibilidad\ de\ incendios$$

De este análisis se obtendrá el mapa de peligros/riesgos de incendios forestales del DMQ.

Esquema3 : Estructura espacial del análisis de riesgo de incendios forestales del DMQ



4. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos muestran la utilidad de estos insumos para varios temas de orden territorial y manejo estratégico en la reducción de riesgos de incendios forestales del DMQ. A continuación se resaltan algunos hallazgos sobretodo observando:

- Las zonas expuestas a riesgos forestales: situación actual
- Las tendencias climáticas comparativas de escenarios de propagación de incendios.

4.1.- Las zonas expuestas a riesgos forestales del DMQ

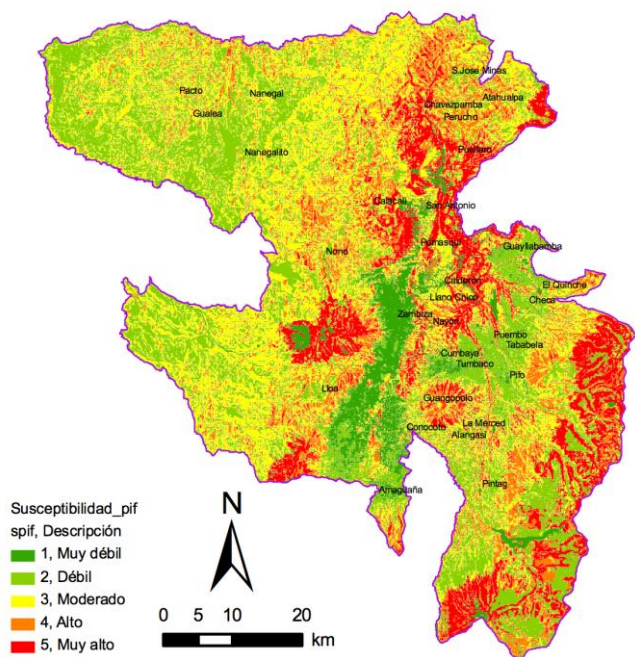
Para comprender los riesgos de incendios forestales del DMQ, es necesario observar como se encuentra repartido espacialmente la susceptibilidad a incendios forestales y las amenazas de propagación y de iniciación de incendios.

La susceptibilidad a incendios forestales del DMQ (*mapa 6*), muestra que gran parte de la vegetación, como pajonales, bosque seco y vegetación paramuna localizados en el suroriente, así como arbustales secos interandinos y bosques bajos y arbustales montanos localizados a lo largo del centro norte del DMQ, son propensos a quemarse. Al comparar este mapa con las zonas de inicio y propagación actuales (*mapa 7*) se observa que las tendencias elevadas (a partir de los niveles 3,2 representados como factor de amenaza con tendencias altas en el mapa) se localizan aproximadamente en un 2% del territorio del DMQ. Los mayores factores de amenaza con niveles 4 a 5 se distribuyen a nivel de las áreas rurales donde existen elevadas temperaturas en verano y poca humedad así como población dispersa y actividad antrópica relacionada con practicas culturales de quema y caminos de senderismo. Es el caso de zonas específicas como Cumbayá, Nayón, Zambiza, Llano Chico, Conocoto, Alangasi o Guangopolo, parroquias localizadas en su mayoría al norte y centro del oriente del DMQ.

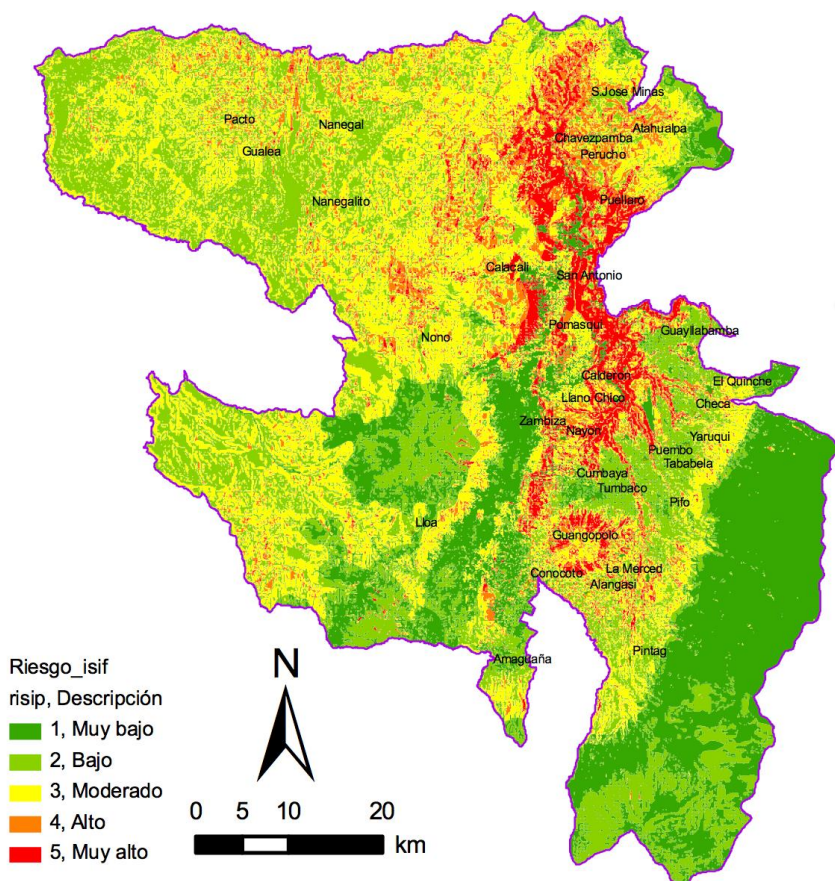
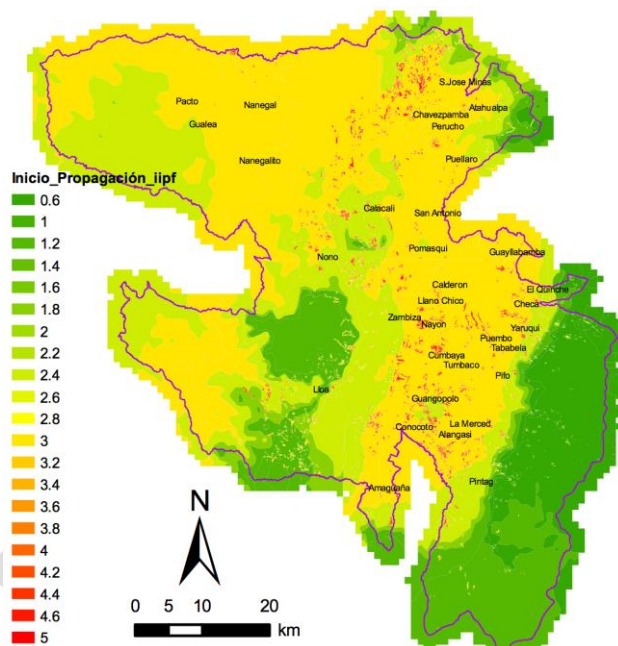
El resultado del cruce de estos mapas se representa en el mapa 9, donde resaltan niveles de peligro de incendios en zonas como Ilalo, Calacalí, Puellaró, Perucho, Llano Chico, Calderón, Nayón y ciertas zonas muy puntuales es de Calacali, Nono y Lloa entre otras. Esto quiere decir que son zonas donde existe una conjunción de factores de susceptibilidad, factores elevados de propagación y una fuerte presión antropogénica de iniciación de incendios.

Estos resultados muestran que el riesgo de incendios se evidencia de manera más elevada en las parroquias del nororiente del DMQ, mientras que si se observa las zonas aledañas del Quito, las zonas del occidente de las faldas del Pichincha resultan afectadas de forma muy puntualizada.

Mapa 6: La susceptibilidad de incendios forestales del DMQ



Mapa 7: Factores de amenaza de incendios por presión antrópica de iniciación de fuego y factores de propagación

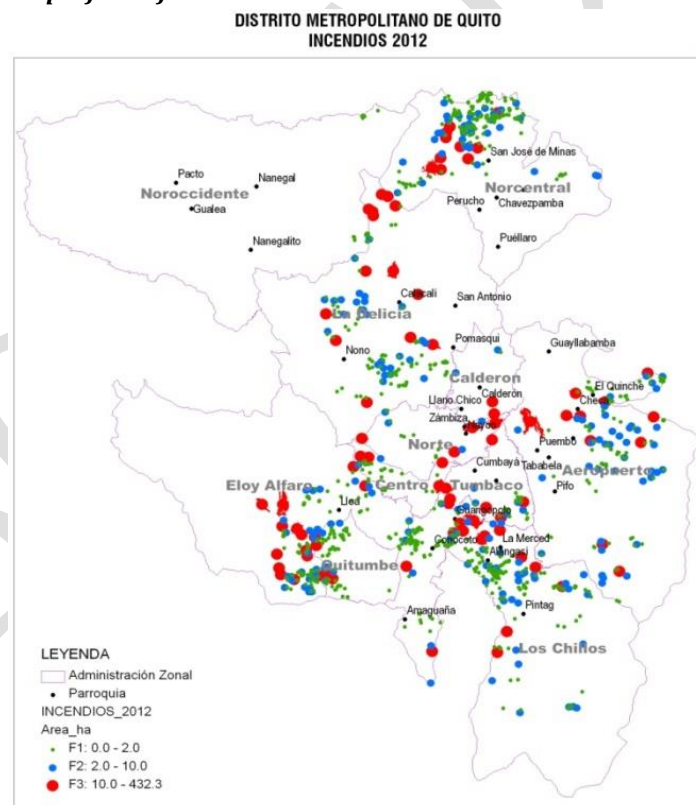


Mapa 7: Peligros de incendios forestales del DMQ por factores de susceptibilidad iniciación y propagación

Uno de los hallazgos de los resultados obtenidos se obtiene al comparar el mapa de *riesgos de incendios forestales* con el mapa generado por la SA sobre “los niveles de superficie de incendios suscitados en el 2012” catalogados por la SA y la Dirección de Riesgos del DMQ como severos (mapa 8). Observando las consecuencias generadas de ese año con el mapa de *riesgos de incendios forestales*, se puede remarcar un relacionamiento directo entre los sitios de mayor superficie quemada con las zonas de mayor riesgo (en el mapa 8 son los círculos en rojo que corresponden a las zonas de mayor expansión de incendios). Respecto a la afectación por Administración Zonal, se tiene que: Las AZs Aeropuerto, Eloy Alfaro, La Delicia y Norcentral fueron las más afectadas, en tanto que por número de incendios la AZ los Chillos con 267 incendios y la AZ Norcentral con 206 flagelos (SA, 2013). Estas mismas zonas corresponden a las de mayor riesgo según el mapa 7, exceptuando la zona Eloy Alfaro donde se presentaron grandes superficies quemadas en el 2012 pero el mapa de riesgos de incendios las señala como zonas de riesgos muy específicas correspondientes a la parroquia de Lloa. En todo caso, esta zona históricamente ha sido la menos recurrente a incendios registrados; no obstante, puede presentar situaciones excepcionales como las evidenciadas en el 2012.

A nivel de pérdidas de la cobertura vegetal se encontraron principalmente los pastizales, arbustos secos y húmedos, así como bosques húmedos y cultivos, generando cuantiosas pérdidas en patrimonio natural. Esta misma vegetación se encuentra expuesta en zonas de riesgos incluyendo bosque seco.

Mapa 7: Niveles de superficie afectada en el incendio severo del 2012 en el DMQ



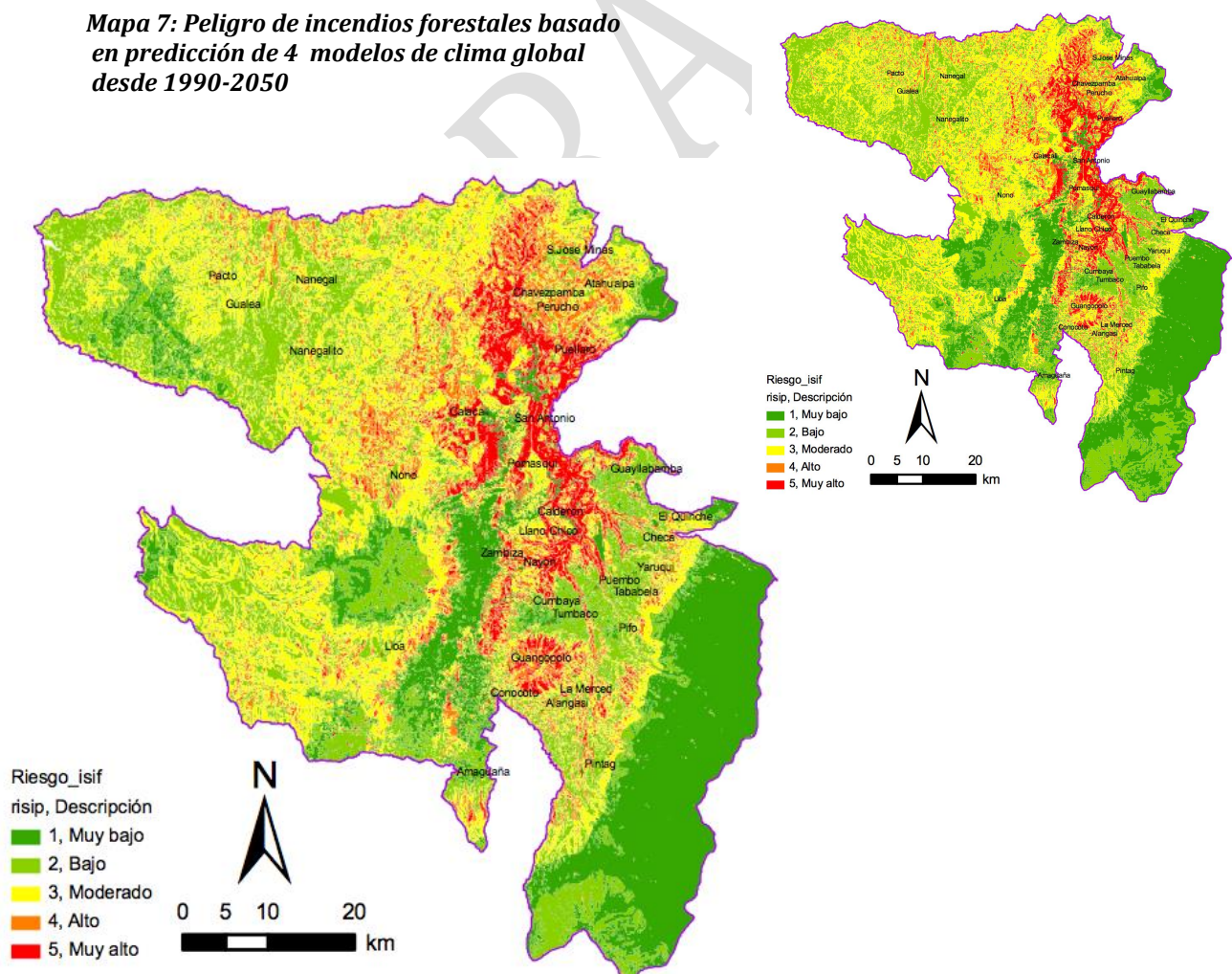
4.2.- Las tendencias climáticas comparativas de escenarios de propagación de incendios.

Una observación comparativa del índice de sensibilidad climática que ejerce un comportamiento en la propagación de incendios en el DMQ (aumento de temperatura y reducción de la precipitación) en el presente y hacia el 2050 (considerando el modelo *World Clim* con una proyección del clima

bajo situaciones extremas de aumento de carbón atmosférico RCP 8), evidencia que el índice de sensibilidad climática aumenta de forma significativa en el DMQ (ver mapa 5 y 6). No obstante, este incremento no ejerce mayor cambio en las formas de propagación de incendios en las zonas rurales; al contrario, este incremento refleja de forma mas dramática, un aumento de las zonas de propagación en la ciudad de Quito y sus alrededores. Asimismo existe un aumento significativo del índice en las zonas de Pintag, Pifo y Tababela, donde actualmente se localizan proyectos de desarrollo del DMQ como el nuevo aeropuerto, vías, proyectos de abastecimiento de agua o zonas residenciales. Esto conlleva a una reflexión sobre un posible incremento de la presión antropogénica al mismo tiempo que aumentaría los niveles de exposición de dichos proyectos y zonas estratégicas a potenciales incendios futuros

Complementando lo anterior, los mapas de riesgo forestal al presente y al futuro (2050), reflejan nuevamente las zonas aledañas a Quito (laderas del Pichincha, zonas del suroccidente y estribaciones orientales) como las zonas de mayor incremento de riesgo, así como Nono y Lloa. No obstante, las zonas de mayor riesgo que en la actualidad se localizan al oriente del DMQ (Ilaló, Conocoto, Zambiza, La Merced...) presentarían un mayor incremento de sus áreas de riesgo llegando inclusive a zonas de cercanas a vegetación paramuna en Pifo y Yaruquí (por citar un ejemplo). Es de recalcar, que este mapa solo ha considerado la variabilidad climática como un factor de gravedad para la propagación de los incendios y no considera las proyecciones del crecimiento de la mancha urbana a futuro y la dinámica de la actividad antropogénica como factor de presión de incendios, factores que, sin duda, podrían modificar de forma sustantiva los resultados de riesgo al 2050, generando posiblemente zonas de riesgo muy elevadas en las zonas rurales.

Mapa 7: Peligro de incendios forestales basado en predicción de 4 modelos de clima global desde 1990-2050



Para complementar los escenarios de riesgo de incendios forestales futuros, es necesario tomar en consideración la proyección de la población como un factor de presión que podría cambiar el escenario de peligro. Según datos obtenidos de la Secretaría de Hábitat y Vivienda (2012), “La tendencia al mayor crecimiento demográfico en las zonas rurales se basa en el crecimiento en las zonas suburbanas (...). Es así que el área urbana enfrenta desventajas debidas a mayor dificultad de tráfico, contaminación; fragmentación parcelaria; falta de legalización de la propiedad del suelo y vivienda, mientras que los sectores suburbanos resultan más atractivos, ya que disponen de un parcelario mayor, buena accesibilidad local y buenas condiciones climáticas”. En efecto, se espera que para el año 2025 exista un crecimiento de 3’080.272 habitantes comparados con la población del ultimo censo 2010 de 2’385.605, es decir con una tasa del 2,2 % en la parte urbana y de 4,3% en la parte rural. Esto conllevaría un crecimiento mayor de población con el consecuente cambio de usos de suelo y pérdida de la cobertura vegetal o agravamiento de incendios potenciales.

5. Conclusiones

A escala Distrital, se evidencia que el territorio del DMQ presenta una elevada exposición a los riesgos de incendios forestales presentes sobre todo en zonas orientales donde existen muchos proyectos estratégicos y actividades de desarrollo. Se trata de zonas donde están localizados, el aeropuerto de Quito, relleno sanitario, vías estratégicas, poliductos, zonas industriales, zonas agropecuarias y proyectos de abastecimiento de agua principalmente, además de muchos centros poblados con densidades consideradas de población como es Tumbaco, Cumbayá, Calderón o Llano Chico (en crecimiento).

De acuerdo a experiencias sobre este tipo de desastres, los incendios pueden comprometer en sus consecuencias no solo a la vegetación natural y por ende a sus ecosistemas frágiles, sino a la salud de la población y el funcionamiento normal de equipamientos urbanos estratégicos para la ciudad. En este caso el DMQ presenta en la actualidad un elevado riesgo a incendios forestales que conlleva a aproximadamente el 35% de la superficie de su territorio.

En un escenario futuro de riesgos de incendios forestales, considerado solamente a partir de un incremento de los índices de sensibilidad climática al 2050, la tendencia de los riesgos aumenta de forma drástica en Quito y sus alrededores especialmente hacia las zonas occidentales del Volcán Pichincha, Lloa y Nono. Estas zonas y otras del DMQ podrían agravarse si se considera en el modelo predictivo la evolución de la mancha urbana y las dinámicas de presión antropogénica. Seguramente reforzarían los espacios de riesgos proyectados agravándolos de forma significativa. En cambio, una observación futura hacia las zonas rurales estas permanecen casi en similares condiciones con el énfasis en algunas zonas que experimentarían un incremento en las superficies de riesgos localizadas especialmente en las zonas de transición hacia los páramos y al noroccidente del DMQ.

En general en el DMQ tanto al presente como al futuro se pueden remarcar condiciones moderadas de riesgos forestales en la mayor parte de su territorio (43%). Esto quiere decir tendencias estables pero que por efectos antrópicos podrían incrementarse si se incluyen en los modelos predictivos estudios de presión antropogénica.

De ahí que para obtener estudios mas precisos de riesgo forestal se debe considerar:

- Mayor profundidad de los análisis de influencia antropogénica a las zonas de incendios a través de las proyecciones de población a futuro, información sobre la movilidad en cuanto a vías, levantamiento de nuevos asentamientos humanos dispersos que no constan en las herramientas de planificación del municipio, mejoramiento de la georeferenciación de las zonas donde se realizan quemas voluntarias como parte de las actividades agrícolas.
- Mejoramiento de los registros históricos de incendios a través de un conocimiento de intensidad, superficie y tipología de los incendios ocurridos
- Mejoramiento de la información climática que conlleve un registro a la escala del DMQ más exacto y que determinen datos climáticos extremos como días secos consecutivos vs días más húmedos.
- Mejoramiento de los indicadores espaciales de presión a través de otros criterios como la influencia de ciertos proyectos estratégicos y actividades industriales.
- Utilización transversal de esta herramienta en otros sectores de funcionamiento del DMQ y que puedan mejorar el conocimiento de los riesgos de incendios forestales.
- Mejoramiento del conocimiento del comportamiento de los incendios del DMQ de acuerdo a criterios de microclima relacionando pisos altitudinales en el DMQ.

Bibliografía

IPCC, (2012); Special report of the intergovernmental panel on climate change; Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation; Cambridge University Press.

Moreno J.M., Rodríguez I., Zabala G., Martín M.; (2009); Cambio climático y riesgos de incendios forestales en Castilla – La Mancha; Departamento de Ciencias Ambientales – Facultad de Ciencias del Medio ambiente; Toledo España.

Lomeña R.; (2009); Los Incendios forestales y el cambio climático; España.

Castillo M.; (2005); Incendios Forestales y Medio Ambiente, Una síntesis global; Universidad de Chile.

Chuvieco E., Martín M.; (2004); Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales; Madrid España.

Estacio, Jairo y Narváez, Nixon, 2012. Incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ): Conocimiento e intervención pública del riesgo. Revista Letras Verdes No. 11.

Mizuta R. et al. 20-km-Mesh Global Climate Simulations Using JMA GSM Model, Mean Climate States. Journal of the Meteorological Society of Japan, 84:165–185, 2006.

Naciones Unidas, FAO; (1996-2000); Forest products statistics; Timber Bulletin; Geneva Switzerland.

Serrano, José, 2011. Regionalización espacial de series climáticas mensuales caso de estudio: Cuenca del río Guayllabamba, Tesis Ingeniería Civil y Ambiental. EPN.