

**ANEXO A**

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE INCENDIOS FORESTALES EN EL DISTRITO  
METROPOLITANO DE QUITO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA”**

Realizado por:

**DIEGO FERNANDO MONTOYA BASTIDAS**

Director del proyecto:

**ING. JOSÉ GABRIEL SALAZAR LOOR**

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Quito, 4 de Agosto de 2015



## ANEXO B

### DECLARACION JURAMENTADA

Yo, MONTOYA BASTIDAS DIEGO FERNANDO con cédula de identidad 171269973-3, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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



Diego Fernando Montoya Bastidas

C.I.: 171269973-3

**ANEXO C**

**DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE INCENDIOS FORESTALES EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”**

Realizado por:

**DIEGO FERNANDO MONTOYA BASTIDAS**

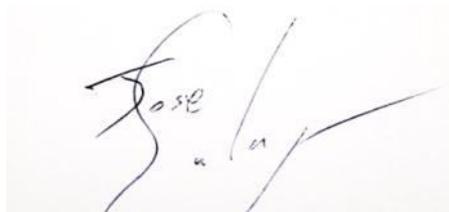
como Requisito para la Obtención del Título de:

**MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

ha sido dirigido por el profesor

**ING. JOSÉ GABRIEL SALAZAR LOOR**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jose Gabriel Salazar Loor', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with some letters overlapping.

José Gabriel Salazar Loor  
DIRECTOR

**ANEXO D**

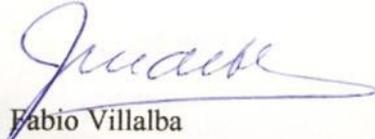
**LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los profesores informantes:

**ING. FABIO VILLALBA**

**ING. SANTIAGO GÓMEZ**

Después de revidar el trabajo presentado,  
lo han calificado como apto para su defensa oral ante  
el tribunal examinador



Fabio Villalba



Santiago Gómez

Quito, 4 de Agosto de 2015

## **ANEXO E**

### **DEDICATORIA**

A Johanna mi esposa, Julián, Ariel y Doménica mis hijos,  
quienes impulsan e inspiran mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Dios que me da mi hermosa vida, a la Virgen María por cuidarme en todo momento,  
a mi cuñado Erick con su apoyo desinteresado, a la Universidad Internacional SEK  
por formar profesionales de excelencia, a mis apreciados maestros  
por ayudarme a navegar en el mundo del conocimiento  
y mis amigos MGA11 por la bonita experiencia  
de compartir las aulas.

## INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
<b>CAPITULO I</b> .....	16
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	16
<b>1.1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	17
<b>1.1.1. Planteamiento del Problema</b> .....	18
<b>1.1.1.1. Diagnóstico del Problema</b> .....	19
<b>1.1.1.2. Pronóstico</b> .....	19
<b>1.1.1.3. Control de Pronóstico</b> .....	19
<b>1.1.2. Formulación del Problema</b> .....	20
<b>1.1.3. Sistematización Del Problema</b> .....	20
<b>1.1.4. Objetivo General</b> .....	20
<b>1.1.5. Objetivos Específicos</b> .....	20
<b>1.1.6. Justificaciones</b> .....	21
<b>CAPITULO II</b> .....	22
<b>2. MARCO TEORICO</b> .....	22
<b>2.1. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA</b> .....	22
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b> .....	23
<b>2.3. MARCO LEGAL</b> .....	29
<b>2.3.1. Constitución de la República del Ecuador 2008</b> .....	29
<b>En el Capítulo Séptimo: Derechos de la Naturaleza</b> .....	29
<b>2.3.2. La Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre</b> .....	30
<b>2.3.3. El Código Penal y de la Ley de Régimen Especial para la Conservación y Desarrollo Sustentable para la Provincia de Galápagos, sin perjuicio de la acción penal correspondiente.</b> .....	30
<b>2.3.4. El Código Penal ecuatoriano</b> .....	31
<b>2.3.5. La Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito, en el numeral 2 del Art. II.357.2.-</b> 31	
<b>2.3.6. Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017</b> .....	31



2.3.7.	Registro Oficial Órgano del Gobierno del Ecuador, año III, Quito 2 de abril de 2009 N° 114, Función Ejecutiva: Ministerio de Inclusión Económica y Social.....	32
<b>CAPITULO III .....</b>		<b>34</b>
<b>3.</b>	<b>MÉTODOLOGÍA .....</b>	<b>34</b>
3.1.	NIVEL DE ESTUDIO .....	34
3.1.1.	Exploratoria .....	34
3.1.2.	Descriptivos.....	34
3.2.	ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.....	36
3.2.1.	Recursos Humanos.....	36
3.2.1.1.	Centro de Operaciones de Emergencia – COE .....	36
3.2.1.2.	Cuerpo de Bomberos de Quito - CBQ .....	37
3.2.1.3.	Ejecutor del Proyecto.....	37
3.2.2.	Recursos Materiales Y Técnicos .....	39
3.2.2.1.	Vestimenta Del CBQ .....	39
3.2.2.2.	Equipos .....	40
3.2.3.	Logística .....	40
3.3.	RECURSOS FINANCIEROS .....	41
3.4.	CRONOGRAMA DE TRABAJO .....	41
3.5.	MODALIDAD DE INVESTIGACION.....	42
3.5.1.	De Gabinete.....	42
3.5.1.1.	Cartografía base.....	42
3.5.1.2.	Mosaico de Ortofotos .....	43
3.5.1.3.	Imágenes Satelitales .....	45
3.5.2.	De campo.....	50
3.6.	MÉTODO .....	53
3.6.1.	Método Hipotético - Deductivo .....	53
3.7.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	53
3.8.	SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION .....	57
3.9.	VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS .....	58
<b>CAPITULO IV.....</b>		<b>62</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
4.1.	Meteorología de DMQ .....	62
4.1.1.	Precipitación .....	63
4.1.2.	Temperatura .....	67
4.1.3.	Evapotranspiración potencial.....	70



4.1.4.	Cobertura Vegetal.....	73
4.1.5.	Niveles de Alerta .....	74
4.1.6.	Probabilidad de Ocurrencia de las Alertas .....	76
4.1.7.	Tratamiento de Imágenes .....	77
4.1.7.1.	Empaquetar la imagen.....	77
4.1.7.2.	Determinación de Nubes y Sombras .....	78
4.1.7.3.	Corrección de la Resolución espectral.....	79
4.1.7.4.	Corrección radiométrica.....	79
4.1.7.5.	Generación del Índice de Vegetación Normalizada .....	80
4.1.7.6.	Edite Raster Color Slice Raster .....	81
4.1.7.7.	Producto Final.....	82
<b>CAPITULO V.....</b>		<b>84</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>84</b>
5.1.	CONCLUSIONES .....	84
5.2.	RECOMENDACIONES.....	86
<b>CAPITULO VI.....</b>		<b>88</b>
<b>6. REFERENCIA Y BIBLIOGRAFIA.....</b>		<b>88</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>90</b>
1.	Plan de Prevención de Incendios Forestales .....	90
2.	Mapas temáticos en formato A2 de:.....	90
3.	Registro fotográfico .....	90
4.	Videos del trabajo de campo.....	90

## INDICE DE FIGURAS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAGINA</b>
Figura 1 Triángulo de fuego.....	23
Figura 2 Partes de un incendio .....	24
Figura 3 Fuego de suelo .....	24
Figura 4 Fuego de superficie .....	25
Figura 5 Fuego de superficie .....	25
Figura 6 Comportamiento del fuego con la topografía.....	26
Figura 7 Concepto de capas .....	28
Figura 8 Toma de una Imagen Satelital.....	29
Figura 9 Estructura metodológica.....	35
Figura 10 Vestimenta del Cuerpo de Bomberos.....	39
Figura 11 Equipo del Cuerpo de Bomberos.....	39
Figura 12 Interfaz DNR Garmin.....	51
Figura 13 Track de trabajo de campo .....	51
Figura 14 Determinación de nubes y sombras .....	78
Figura 15 Producto Final .....	82

## INDICE DE CUADRO

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAGINA</b>
Cuadro 1 Modelos del combustible de superficie .....	27
Cuadro 2 Clasificación de alertas Tempranas.....	75

## INDICE DE TABLAS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAGINA</b>
Tabla 1 Tabla de Financiamiento .....	41
Tabla 2 Cronogramas del Proyecto de titulación.....	41
Tabla 3 Sitios de muestreo de campo.....	55
Tabla 4 Bandas de Landsat 7 .....	58
Tabla 5 Bandas de Landsat 8 .....	58
Tabla 6 Información de Escena de Landsat 7 .....	59
Tabla 7 Información de Escena de Landsat 8 .....	60
Tabla 8 Estaciones Espacializadas Climáticas del DMQ .....	62
Tabla 9 Precipitación Media Mensual (mm) de Estaciones Meteorológicas .....	63
Tabla 10 Temperatura media mensual °C de Estaciones Meteorológicas.....	67
Tabla 11 Evapotranspiración Potencial Mensual (mm) de Estaciones Meteorológicas .....	70
Tabla 12 Probabilidad de las alertas .....	76

## INDICE DE MAPAS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAGINA</b>
Mapa 1 Mapa del mosaico de ortofotografías.....	44
Mapa 2 Mapa de imagen satelital Landsat 7 del DMQ.....	46
Mapa 3 Mapa de cartas topográficas del DQM.....	52
Mapa 4 Mapa político del DMQ .....	54
Mapa 5 Mapa de salidas de campo en el DMQ.....	56
Mapa 6 Mapa de precipitación media del DMQ .....	66
Mapa 7 Mapa de temperatura atmosférica del DMQ .....	69
Mapa 8 Mapa de evapotranspiración del DMQ .....	72
Mapa 9 Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra del DMQ.....	73
Mapa 10 Mapa de alerta temprana de incendios forestales del DMQ .....	83

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAGINA</b>
Gráfico 1 Precipitación Media Mensual (mm).....	65
Gráfico 2 Temperatura media mensual °C.....	68
Gráfico 3 Probabilidad de Propagación Circular.....	76
Gráfico 4 Probabilidad de Propagación Lineal.....	77

## INDICE DE FOTOS

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAGINA</b>
Foto 1 Cuerpo de Bomberos y técnicos del Centro de Operaciones de Emergencia .....	21
Foto 2 Técnicos del COE.....	36
Foto 3 Técnicos del COE y ejecutor del proyecto .....	36
Foto 4 Cuerpo de Bomberos Quito.....	37
Foto 5 Cuerpo de Bomberos Quito.....	37
Foto 6 Ejecutor del proyecto y bombero .....	38
Foto 7 Verificaciones en campo Investigador de Proyecto y bombero .....	38
Foto 8 Equipo de trabajo.....	38
Foto 9 Vestimenta y equipo del CBQ.....	40
Foto 10 Camioneta Cuerpo de Bomberos.....	40
Foto 11 Anemómetro.....	57
Foto 12 Semáforo de peligro de propagación de incendios forestales .....	96
Foto 13 Torres de monitoreo del CBQ .....	97

## RESUMEN

Al hablar de incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito, se puede mencionar, que son parte de las más trascendentales causas en el deterioro y pérdida de la flora y fauna en las zonas periurbanas. Se puede atribuir también a los incendios forestales daños inherentes tales como contaminación del aire, agua y suelo, que a su vez afectan negativamente la vida humana y su diario vivir, llegando en ocasiones a casos que implican lesiones por quemaduras, enfermedades respiratorias, pérdida de bienes e incluso la muerte.

Al verse en aumento la incidencia en incendios forestales en los últimos años y al hacer referencia a los daños muchas veces irremediables, existe la necesidad de realizar una actualización en los instrumentos de control y planificación, para afrontar de una manera eficaz la gestión de los temas concernientes en incendios forestales. Es así que se ha encontrado en los Sistemas de Información Geográfica que son una herramienta de ingeniería innovadora, que en comparación con los métodos convencionales, puede convertirse en un factor determinante a la hora de la toma de decisiones frente a los contingentes de incendios forestales, reduciendo así de manera significativa el impacto de los mismos.

El Cuerpo de Bomberos de Quito, en el 2011, expone que el 99% de los episodios en incendios forestales son causados por responsabilidad humana; de manera accidental, intencionada y no intencionada, por lo que la sinergia de las herramientas SIG, análisis de imágenes satelitales por sensores remotos, permite plasmar en un plan de prevención temas de carácter informativo acerca de la formación de los incendios forestales, sus consecuencias, sanciones por negligencia e intencionalidad, y por supuesto la manera de evitarlos.

Mediante la implementación de alertas tempranas definimos la salud de la cobertura vegetal, sumado a las condiciones meteorológicas en las diferentes épocas del año, determinaron las zonas de peligro; factores que podemos prevenir de manera efectiva un incendio forestal, o en su defecto combatir eficientemente su propagación.

Para que los sistemas de información geográfica se acoplen al plan de prevención, se realizará una serie de procedimientos que comprobarán su eficacia, los cuales se vieron reflejados en la toma de datos in-situ y la recopilación de datos que las instituciones generadoras de información.

Se generó mapas temáticos, gráficos de incidentes y alertas tempranas que aportarán a una toma de decisiones precisa en casos de incendios forestales, en cuanto a prevención, control y porque no rehabilitación pos-siniestro.

## **ABSTRACT**

Speaking of forest fires in the Metropolitan District of Quito there may be mentioned, which are part of the most significant causes in the deterioration and loss of flora and fauna in peri-urban areas. It can also be attributed to forest fires inherent damage such as air pollution, water and soil, which in turn negatively affect human life and their daily lives, sometimes leading to cases involving burn injuries, respiratory diseases, loss of goods and even death.

By increasing the incidence seen in forest fires in recent years and with reference to the often irreparable damage, there is a need for an update on the planning and control tools to address in an effective way management issues concerning forest fire. Thus found in Geographic Information Systems that are innovative engineering tool, which compared with conventional methods, can be a determining factor when making decisions against quotas forest fires, significantly reducing the impact thereof.

The Fire Department of Quito, in 2011, states that 99% of the episodes in forest fires are caused by human responsibility; accidentally, intentionally and unintentionally, so the synergy of GIS tools, analysis of satellite imagery for remote sensing, can translate into a prevention plan informative issues about the formation of forest fires, their consequences, sanctions for negligence and intent, and of course how to avoid them.

By implementing early warning we define health of vegetation cover, plus the weather at different times of the year, determined the danger zones; factors that can effectively prevent a forest fire, or otherwise effectively combat its spread.

For the GIS engage the prevention plan, a series of procedures that verify its effectiveness will take place, which were reflected in the in-situ data collection and data collection that institutions generating information.

Thematic maps and graphics incidents early warnings that will provide accurate decision making in cases of forest fires was generated, in terms of prevention, control and because no post-disaster rehabilitation.

## **TITULO DE LA INVESTIGACION:**

“Análisis Multitemporal De Incendios Forestales En El Distrito Metropolitano De Quito Mediante Sistemas De Información Geográfica”

# **CAPITULO I**

## **1. INTRODUCCION**

Es imperativo conocer la relevancia del fuego en la mecánica de los ecosistemas terrestres, constituyendo así un elemento decisivo en la selección, adaptación y evolución de las especies.

De generación en generación la quema ha sido explotada para agilizar la nitrificación de los suelos y así promulgar la expansión agrícola que delimita la administración de territorial.

Según, Padrón (2007), estudios realizados en la Universidad de Alcalá mediante el desarrollo del proyecto “FIREMAP”, se determinó las preocupantes repercusiones atmosféricas de la quema de la biomasa, ya que se calculó que representan en promedio un 40% de las emisiones de CO<sup>2</sup> a nivel global, aportando directamente con el incremento de las secuelas nocivas del efecto invernadero.

Llama la atención los datos publicados por el Municipio del Distrito Metropolitano en 2014; estadísticas que corroboran que en los últimos 13 años se han consumido 19.308 hectáreas de áreas verdes distribuidas entre bosque y vegetación.

En el presente estudio se pretende realizar un análisis de percepción remota en el Distrito Metropolitano de Quito, para determinar los márgenes de recurrencia en incendios forestales, integrando para los fines pertinentes de sistemas de información geográfica como herramienta de determinación.

En la práctica se puede aprovechar los beneficios de un recurso digital valioso aplicable a cualquier zona y en tiempo real, permitiendo análisis históricos que nos ayudarán a generar distintas alternativas de solución de manera oportuna y efectiva para combatir los incendios forestales.

En concreto se busca estrategias para enfrentar la problemática que en reiteradas ocasiones ha importunado la zona en la última década y que consume valiosos recursos en el Distrito Metropolitano que aunque se recuperan a largo plazo, nos deja siempre a la comunidad con la incertidumbre de que se repitan los siniestros.

Los resultados del estudio aportarán en la aplicación de acciones correctivas, de prevención y respuesta, optimizando recursos al poder tomar decisiones acertadas antes y durante el evento.

## **1.1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Anualmente en los meses de Julio a Septiembre, durante el verano, el Distrito Metropolitano de Quito se enfrenta a la aparición de incendios forestales, y sus respectivas consecuencias, tales como pérdida de cobertura vegetal como pasto, matorrales y bosques; además de la pérdida de fauna alojada en las zonas perjudicadas; se debe sumar a esto daños colaterales vinculados como la contaminación del aire y el agua, diferentes grados de lesiones, laceraciones respiratorias, y en casos extremos la muerte, refiriéndose a la vida humana.

El deterioro de la infraestructura y bienes materiales representa también un problema relevante, ya que constituyen pérdidas monetariamente importantes año tras año para el DMQ.

El alarmante incremento de los incendios forestales y las prominentes consecuencias que estos producen, nos conducen a analizar datos históricos y compararlos con eventos actuales, superponiendo los datos mediante instrumentos actualizados para lograr minimizar la frecuencia e impacto de los mismos.

Según, Estacio y Narváez (2012), señalan que el Cuerpo de Bomberos de Quito, en el 2014 determinó que en el 99% de los casos en incendios forestales ha intervenido de manera accidental o intencional, la mano del hombre. Las acciones no intencionadas pueden ser acciones rudimentarias de utilización del fuego como herramienta de bajo costo para la preparación de las tierras en los cultivos. Así también por el desconocimiento de la sociedad de normas, procedimientos y sanciones que establecen las leyes y ordenanzas por el mal uso del fuego.

Se debe contar con una estrecha relación con los involucrados de las zonas de alto riesgo dentro de las comunidades, para aportar con educación al respecto del tema, y así capacitar y dar charlas para tener un rango de prevención óptima.

### **1.1.1. Planteamiento del Problema**

Dentro de los límites del Distrito Metropolitano de Quito, se ha evidenciado de manera periódica la presencia de incendios forestales de manera recurrente. La información al respecto es bastante precaria, limitándose a la contención y registro del suceso; informes que carecen de datos que realmente puedan aportar en la disminución del problema.

El personal del Cuerpo de Bomberos de Quito califica habitualmente dentro del marco de incendios forestales, todo aquel que se encuentra relacionado con espacios periurbanos de la ciudad de Quito (laderas del Pichincha, zonas orientales de Quito y zonas de protección) y espacios públicos asociados a vegetación arbustiva y arbórea del interior de la ciudad (bordes de quebrada, espacios vacantes o espacios de recreación). Estos registros están relacionados con la accesibilidad reactiva del Cuerpo de Bomberos para responder a emergencias de incendios. Esto significa que existen muchos eventos que no tienen registros, que están localizados en zonas alejadas de la ciudad y que corresponden a sitios boscosos del Distrito Metropolitano a los cuales la respuesta llega de forma parcial o, en el peor de los casos, es inexistente. (Jairo Estacio y Nixon Narváez; Incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ): Conocimiento e intervención pública del riesgo 2012).

#### **1.1.1.1. Diagnóstico del Problema**

Dentro de los límites del Distrito Metropolitano de Quito, se ha evidenciado de manera periódica la presencia de incendios forestales de manera recurrente. La información al respecto es bastante precaria, limitándose a la contención y registro del suceso; informes que carecen de datos que realmente puedan aportar en la disminución del problema.

El personal del Cuerpo de Bomberos de Quito califica habitualmente dentro del marco de incendios forestales, todo aquel que se encuentra relacionado con espacios periurbanos de la ciudad de Quito (laderas del Pichincha, zonas orientales de Quito y zonas de protección) y espacios públicos asociados a vegetación arbustiva y arbórea del interior de la ciudad (bordes de quebrada, espacios vacantes o espacios de recreación). Estos registros están relacionados con la accesibilidad reactiva del Cuerpo de Bomberos para responder a emergencias de incendios. Esto significa que existen muchos eventos que no tienen registros, que están localizados en zonas alejadas de la ciudad y que corresponden a sitios boscosos del Distrito Metropolitano a los cuales la respuesta llega de forma parcial o, en el peor de los casos, es inexistente.

#### **1.1.1.2. Pronóstico**

La implementación de tecnologías de información geográfica aplicada para el pronóstico en incendios forestales proporciona innovadoras posibilidades de obtener y gestionar información espacial en tiempo real, y así intervenir de manera positiva en la toma de decisiones ante cualquier evento de esta naturaleza en el Distrito Metropolitano de Quito.

#### **1.1.1.3. Control de Pronóstico**

El estudio detallado a continuación pretende analizar imágenes satelitales Landsat en conjunto con capas de información como cobertura y uso de la tierra, información meteorológica, modelo digital del terreno, información histórica de eventos de incendios forestales proporcionados por el Cuerpo de Bomberos de Quito, con el fin de realizar un pronóstico de alertas producto del comportamiento de la cobertura vegetal; la información levantada mediante material cartográfico generado por las

tecnologías a implementar, con la información recopilada, se comprueba con datos de campo para así validar el aprovechamiento de la tecnología geográfica aplicado en incendios forestales.

### **1.1.2. Formulación del Problema**

¿Cómo reducir el riesgo del Distrito Metropolitano de Quito, mediante toma de decisiones oportunas en caso de alertas e indicios de Incendios Forestales?

### **1.1.3. Sistematización Del Problema**

¿El sistema a implementar cumplirá con los requerimientos deseados?

¿Voy a lograr que coincidan los datos generados en campo con los pronósticos de los Sistemas de Información Geográfica y tratamiento de imágenes satelitales?

¿En un caso real, que tanto podemos aprovechar los datos generados?

¿En qué porcentaje influirá la implementación en la toma de decisiones?

¿Cuánto costará la implementación y capacitación para poner en funcionamiento el proyecto?

### **1.1.4. Objetivo General**

1.1.4.1. Efectuar el análisis con sensores remotos en el Distrito Metropolitano de Quito para la generación de alertas tempranas que ayuden a la identificación de posibles incendios forestales, utilizando Sistemas de Información Geográficos que asistan en la toma de decisiones oportunas para su prevención.

### **1.1.5. Objetivos Específicos**

1.1.5.1. Recopilar información de incendios forestales y descarga de imágenes satelitales Landsat del DMQ

1.1.5.2. Analizar y espacializar la información de incendios forestales proporcionada por las instituciones generadoras de información en el DMQ.

- 1.1.5.3. Determinar las variables espaciales y meteorológicas que intervienen en los incendios en el DMQ
- 1.1.5.4. Validar la información de incendios forestales resultante del análisis de las imágenes satelitales con pruebas de campo, con el fin de generar un sistema de alertas tempranas.
- 1.1.5.5. Representar mediante mapas temáticos los datos procesados de incendios forestales y comprobar la eficacia del sistema de alertas tempranas.
- 1.1.5.6. Generar un plan de prevención básico para la toma de decisiones que disminuyan el riesgo en incendios forestales.

### **1.1.6. Justificaciones**

Una vez revisadas las primeras impresiones acerca de la problemática que implica lidiar con incendios forestales en magnitudes tan desproporcionadas dentro del Distrito Metropolitano de Quito; se ha optado por buscar herramientas innovadoras que justifiquen planes de contingencia eficaces que minimicen de manera relevante la cantidad de incidencias en campo.

**Foto 1** Cuerpo de Bomberos y técnicos del Centro de Operaciones de Emergencia



Diego Montoya, 2015

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA

El Distrito Metropolitano de Quito para la identificación de amenaza eventual y potencial de incendios forestales, se acogió el Plan de prevención de riesgos de incendios forestales de Francia (PPRIH), en convenio con el Observatorio de riesgos naturales de la Región Languedoc-Roussillon del sur de Francia.

Una de las primacías de este procedimiento, en cuanto a la generación de información útil, cuyo aporte apunta hacia el beneficio y mejoramiento de la toma de decisiones, consiste en conseguir herramientas que faciliten las acciones concernientes a la disminución de riesgos en incendios forestales.

Precisamente la obtención de datos inherentes al estudio en el perímetro del DMQ, proporcionará la oportunidad de clasificar parámetros para constituir una base técnica, la cual nos servirá como referencia para gestionar de manera eficiente planes de carácter preventivo, respuesta y porque no, al profundizar el tema en un futuro, rehabilitación para las autoridades municipales.

En la adaptación para el DMQ, se ha garantizado que la zonificación guarde los criterios adecuados para nuestra circunscripción, tomando en cuenta el estudio de las condiciones meteorológicas características de la misma.

Ya dentro del plan se debe tomar en cuenta parámetros fundamentales para su desarrollo en casos de incendios forestales en proceso, tales como:

- Métodos de ataque, utilizados para mitigar de manera eficiente el fuego.
- Elección del método, optimizando los materiales y personal del que se dispone.
- Etapas para elección y acción.

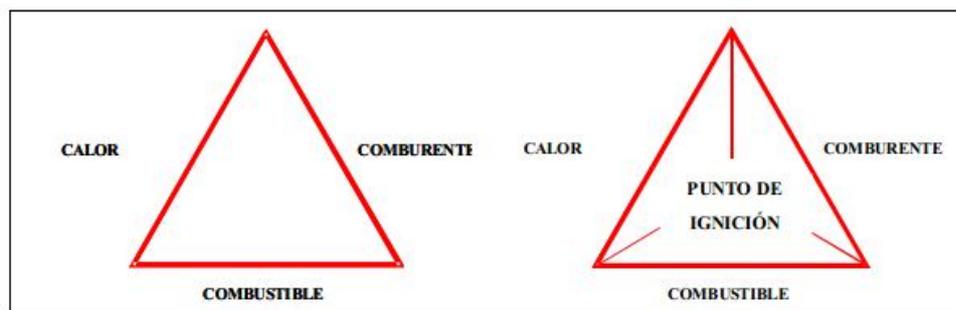
En el Distrito Metropolitano de Quito, la prevención y control de incendios forestales está a cargo del Ilustre Municipio del DMQ, en coordinación estratégica con la Secretaría del

Ambiente, Seguridad y Gobernabilidad, quien de manera indirecta concilia acciones con el Cuerpo de Bomberos de Quito y el COE.

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

**Fuego:** es el fenómeno que se produce cuando se le aplica calor a un material combustible, en presencia del aire. Para el fuego es necesario que existan tres componentes (combustible, comburente o aire y calor). Denominado triángulo de fuego, explicado en la siguiente figura:

**Figura 1** Triángulo de fuego



Universidad de Lleida, 2008

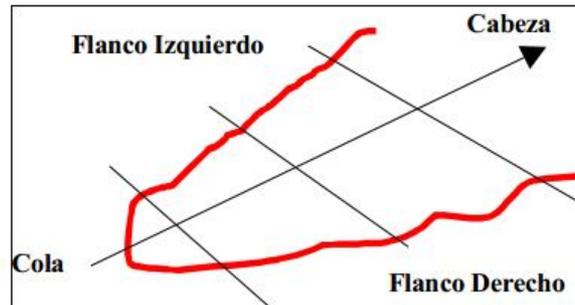
**Quema:** es el fuego que se propaga sin control y/o límite preestablecido, consumiendo combustibles como basuras, elementos de madera, pastos y otros residuos vegetales producidos en actividades agrícolas, pecuarias y forestales.

**Conato:** fuego que consume material vegetal como combustible principal y afecta un área inferior o igual a una hectárea.

**Incendio forestal:** fuego que se propaga libremente, sin límites preestablecidos consumiendo material vivo o muerto en terrenos de aptitud preferiblemente forestal, que afecta los ecosistemas, la propiedad y la salud de las personas. (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014)

### Partes de un Incendio:

Figura 2 Partes de un incendio



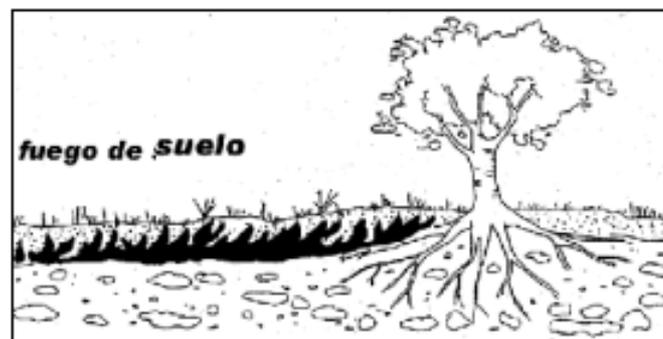
Universidad de Lleida, 2008

- **Cabeza:** es parte más activa del incendio forestal, un incendio desarrollado puede tener varias cabezas.
- **Flanco:** se refiere a los lados que quedan entre la cabeza y la cola.
- **Cola:** Es la parte opuesta a la cabeza, corresponde a la porción que quema más lentamente.

### Tipos de incendios: Según donde se propagan

- **Suelo:** se propaga por la materia orgánica en descomposición y las raíces.

Figura 3 Fuego de suelo



Universidad de Lleida, 2008

- **Superficie:** el incendio se propaga por el combustible que se encuentra sobre el suelo, incluye la hojarasca sin descomponer, hierbas, arbustos y leños caídos

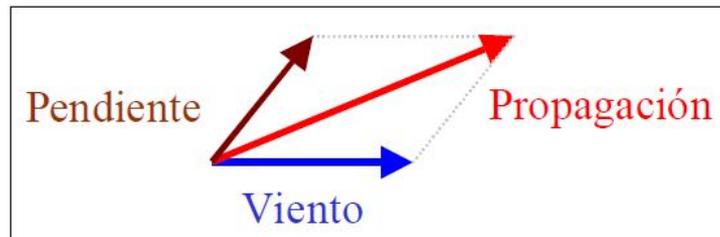
**Figura 4** Fuego de superficie



Universidad de Lleida, 2008

**Meteorología:** se disgrega en un triángulo cuyos lados son: Temperatura, Humedad Relativa y Viento siendo éste último un factor importante y el que determina el tipo de incendio como resultado.

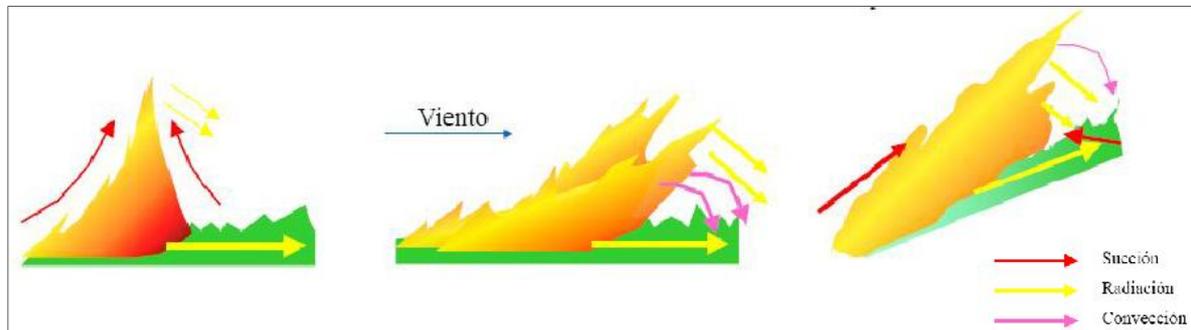
**Figura 5** Fuego de superficie



Universidad de Lleida, 2008

**Topografía:** ésta también se puede descomponer en otros tres factores como la Orientación (exposición al sol), Rugosidad y Pendiente siendo ésta última la principal que determina el comportamiento del incendio. Dentro de la orientación de los bosques de Quito por encontrarse en la zona ecuatorial es predominante la mirada de la vegetación al oriente, por recibir la mayor cantidad de radiación solar, por tanto en el Distrito son zonas más soleadas, secas y vegetación menos densa, factor por el cual influye considerablemente el aumento de los incendios forestales en dichas zonas denominadas solanas.

**Figura 6** Comportamiento del fuego con la topografía



Molina, 2000

**Combustible:** este factor lo dividimos en Tipología de combustibles, Humedad del combustible-Tiempo de retardo y Cantidad-Carga siendo ésta última la que nos definirá la intensidad del frente de llama.

En su texto, Grillo y Molina (2007) sostiene que donde mejor se aprende el comportamiento del fuego es en las labores de quemas bajo el control técnico, en un plan de quemas prescritas, aparte de suponer un tratamiento local de la vegetación forestal que puede ayudar a la facilidad de controlar los incendios forestales, ayuda a formar adecuadamente a los combatientes en el comportamiento del fuego forestal lo que redundará en una extinción más segura y eficaz.

En el DMQ se tiene la presencia de bosques de pino (*Pinus halepensis*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), chaparra (*Quercus ilex*), cebada, pastizales, hierba perenne; estas especies son clasificadas como inflamables, situación que cambia en verano al clasificarse como muy inflamables, convirtiéndose la cobertura vegetal en un parámetro predominante en el aumento de incendios forestales, las especies introducidas como el pino y eucalipto se convierten así en un elemento que aumenta la posibilidad de incendios tomadas en cuenta en las alertas.

**Cuadro 1** Modelos del combustible de superficie

Grupo	Modelo	Descripción
Pastos	1	La propagación del incendio está gobernada por los combustibles herbáceos finos (secos o casi secos). La propagación es rápida. El matorral o arbolado ocupa menos de un tercio del área. Ej.: praderas naturales, rastros, herbáceas anuales y perennes. Carga de combustible (materia seca): 1-2 t/ha.
	2	La propagación del incendio está gobernada por los combustibles herbáceos finos (secos o muertos). La propagación es rápida. El matorral o arbolado ocupa de un tercio a dos tercios del área. Las intensidades del fuego son mayores y pueden producirse pavesas. Carga de combustible (materia seca): 1-2 t/ha.
	3	La propagación del incendio está gobernada por los combustibles herbáceos finos (un tercio o más está seco). La altura media del pasto es 1 m. Ej.: campo de cereales sin cosechar y praderas naturales altas. Carga de combustible (materia seca): 4-6 t/ha.
Matorral	4	Matorrales de unos 2 m. de altura, repoblados o regenerados jóvenes densos. Fuegos rápidos que se propagan por las copas del matorral que forma un estrato casi continuo. Consume el follaje y el material leñoso fino vivo y muerto. Este material leñoso contribuye significativamente a la intensidad del incendio. Carga de combustible (materia seca): 25-35 t/ha.
	5	Matorral no es alto (< 1 m de altura) pero cubre casi totalmente el área. El incendio se propaga por los combustibles superficiales que son la hojarasca de los matorrales y herbáceas. Los fuegos no tan intensos. El matorral es joven, con poco material muerto y su follaje contiene pocos volátiles. Carga de combustible (materia seca): 25-35 t/ha.
	6	Matorrales y los restos (secos) de cortas de frondosas. Propagación por las copas del matorral cuyo follaje es más inflamable que en el modelo 5. Requiere vientos > 13 km/h. El incendio descenderá al suelo a bajas velocidades de viento o en zonas desprovistas de matorral. El matorral es más viejo pero no tan alto como en el modelo 4. Carga de combustible (materia seca): 10-15 t/ha.
	7	Matorrales < 2 m, pinares con sotobosque de especies inflamables. Propagación con igual facilidad por el suelo forestal y por el matorral. Puede ocurrir en condiciones de humedad del combustible más altas debido a la mayor inflamabilidad de los combustibles. Carga de combustible (materia seca): 10-15 t/ha.
Hojarasca bajo arbolado	8	Bosques cerrados de coníferas o frondosas con hojarasca compacta y poco matorral. Ej.: pinares de hoja corta, abetos, alerces. Fuegos superficiales (lentos) ardiendo con alturas pequeñas de llama (alguna llamarada). Peligroso solo en las peores condiciones atmosféricas. Carga de combustible (materia seca): 10-12 t/ha.
	9	Bosques con hojarasca menos compacta, pinares de hoja larga, incendios de otoño en formaciones de frondosas. Propagación a través de la hojarasca superficial más rápidamente que en el modelo 8. Carga de combustible (materia seca): 10-12 t/ha.
	10	Bosques con plagas, enfermedades (hongos), maltratados por el viento, sobre maduros, con material leñoso caído de claras y cortas parciales. Los fuegos queman combustibles de superficie y del suelo con mayor intensidad que en los dos modelos anteriores. Hay, también, más cantidad de ramas 76 mm muertas caídas sobre el suelo y los coronamientos (paso a fuego de copas en algún árbol) son más frecuentes. Carga de combustible (materia seca): 10-12 t/ha.
Restos de operaciones selvícolas	11	Bosque claro o fuertemente aclarado. Restos de poda o claras con plantas herbáceas rebrotando. Carga de combustible (materia seca): 25-30 t/ha o ligera. Pocos materiales caídos de más de 76 mm de diámetro.
	12	Predominio de restos sobre el arbolado. Resto cubriendo todo el suelo. Carga de combustible (materia seca): 50-80 t/ha. El incendio se propaga hasta encontrar cortafuegos o cambio de combustibles. Más materiales caídos de más de 76 mm de diámetro. Puede generar pavesas.
	13	Muchos materiales caídos de más de 76 mm de diámetro. Puede generar pavesas. Carga de combustible (materia seca): 100-150 t/ha.

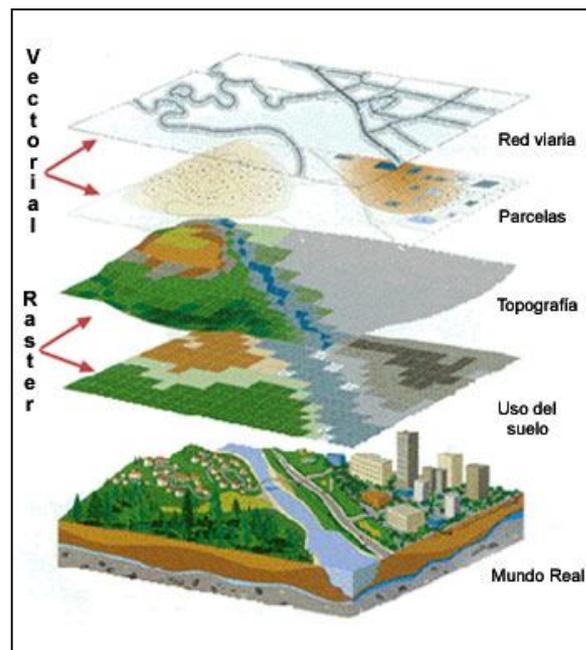
Rothermel, 1972

**SIG:** Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés - Geographic Information System) es una integración organizada de *hardware*, *software* y *datos geográficos* diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión. Langlé Rubén, 2014

**Tipos de estructuras de datos SIG:** La información geográfica es representada por un sistema lógico que muestran y organizan las variables para su representación, dando lugar a dos tipos de capas de información espacial:

- a. **Raster:** es un método para el almacenamiento, procesado y la visualización de datos geográficos. Cada superficie a representar se divide en filas y columnas, formando una malla o rejilla regular. Cada celda ha de ser rectangular. Cada celda de la rejilla guarda tanto las coordenadas de la localización como el valor temático (Dr. F. Escobar, Introducción a los SIG, Assoc Prof G. Hunter, Department of Geomatics, The University of Melbourne)
- b. **Vector:** es una estructura de datos utilizada para almacenar datos geográficos donde se representan como puntos, líneas o polígonos.

**Figura 7** Concepto de capas



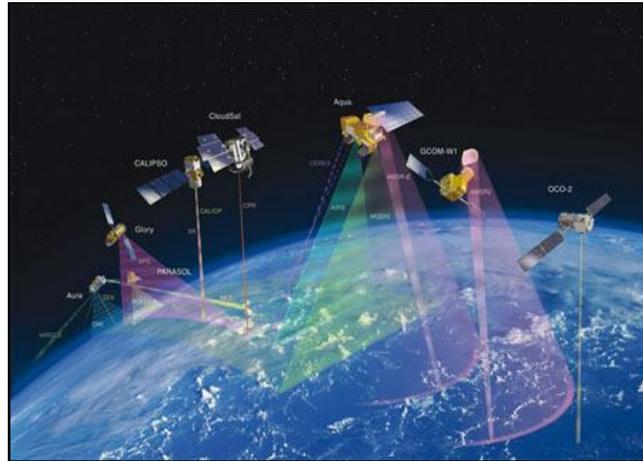
Environmental Systems Research Institute – ESRI

**Teledetección:** es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, estableciendo que entre la Tierras y el sensor existe una interrelación energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético recibido artificial. (E. Chuvieco, 1995)

**Imagen Landsat:** La constelación de satélites LANDSAT (LAND = tierra y SAT = satélite), que inicialmente se llamaron ERTS (Earth Resources Technology Satellites),

fue la primera misión de los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. La forman 8 satélites de los cuales sólo se encuentran activos el 5 y el 8. Su mantenimiento y operación está a cargo de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) en tanto que la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

**Figura 8** Toma de una Imagen Satelital



Eva Aguilar, 2011

## 2.3. MARCO LEGAL

### 2.3.1. Constitución de la República del Ecuador 2008

#### Capítulo cuarto: Régimen de competencias

**Art. 264.-** Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

13. Gestionar los servicios de prevención, protección, socorro y extinción de incendios.

#### En el Capítulo Séptimo: Derechos de la Naturaleza

**Art 71.-** La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el

cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observaran los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.”

**Art 389.-** “El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad”.

### **2.3.2. La Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre**

Art 78.- “Quien pade, tale, descortece, destruya, altere, transforme, adquiera, transporte, comercialice, o utilice los bosques de áreas de mangle, los productos forestales o de vida silvestre o productos forestales diferentes de la madera, provenientes de bosques de propiedad estatal o privada, o destruya, altere, transforme, adquiera, capture, extraiga, transporte, comercialice o utilice especies bio-acuáticas o terrestres pertenecientes a áreas naturales protegidas, sin el correspondiente contrato, licencia o autorización de aprovechamiento a que estuviera legalmente obligado, o que, teniéndolos, se exceda de lo autorizado, será sancionado con multas equivalentes al valor de uno a diez salarios mínimos vitales generales y el decomiso de los productos, semovientes, herramientas, equipos, medios de transporte y demás instrumentos utilizados en estas acciones en los términos

### **2.3.3. El Código Penal y de la Ley de Régimen Especial para la Conservación y Desarrollo Sustentable para la Provincia de Galápagos, sin perjuicio de la acción penal correspondiente.**

**Art. 65** “Si la tala, quema o acción destructiva, se efectuare en lugar de vegetación escasa o de ecosistemas frágiles, tales como manglares y otros determinados en la Ley y reglamentos; o si ésta altera el régimen climático, provoca erosión, o

propensión a desastres, se sancionará con una multa equivalente al cien por ciento del valor de la restauración del área talada o destruida”

**Art. 79** “Sin perjuicio de la acción penal correspondiente, quien provoque incendios de bosques o vegetación protectores, cause daños en ellos, destruya la vida silvestre o instigue la comisión de tales actos será multado con una cantidad equivalente de uno a diez salarios mínimos vitales generales”.

#### **2.3.4. El Código Penal ecuatoriano**

##### **Delitos sobre el medio ambiente**

**Art. 437-H** “El que destruya, quemé, dañe o tale, en todo o en parte, bosques u otras formaciones vegetales, naturales o cultivadas, que estén legalmente protegidas, será reprimido con prisión de uno a tres años, siempre que el hecho no constituya un delito más grave. La pena será de prisión de dos o cuatro años cuando:  
a) Del delito resulte la disminución de aguas naturales, la erosión del suelo o la modificación del régimen climático; o, b) El delito se cometa en lugares donde existan vertientes que abastezcan de agua a un centro poblado o sistema de irrigación”.

#### **2.3.5. La Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito, en el numeral 2 del Art. II.357.2.-**

**CONTRAVENCIONES Y SANCIONES:** “Serán reprimidos con multa de 0.5 RBUM dólares americanos, quienes cometan las siguientes contravenciones:  
a)...b) Incinerar a cielo abierto basura, papeles, envases”

#### **2.3.6. Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017**

**Objetivo 7:** Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global.

**Política 7.3:** Consolidar la gestión sostenible de los bosques, enmarcada en el modelo de gobernanza forestal

**Lineamiento b:** Desarrollar actividades de forestación, reforestación y revegetación con especies nativas y adaptadas a las zonas afectadas por procesos de deforestación, degradación, fragmentación, erosión, desertificación e incendios forestales.

**Lineamiento d:** Fortalecer los mecanismos jurídicos e institucionales que promueven la conservación, protección y producción forestal sustentable, especialmente con especies nativas, para contrarrestar procesos de deforestación, degradación, fragmentación, erosión, desertificación e incendios forestales.

**Lineamiento f:** Fortalecer el sistema de información forestal y promover la investigación para identificar y cuantificar el patrimonio forestal como base para la toma de decisiones respecto a su conservación y manejo.

### **2.3.7. Registro Oficial Órgano del Gobierno del Ecuador, año III, Quito 2 de abril de 2009 N° 114, Función Ejecutiva: Ministerio de Inclusión Económica y Social.**

#### **Reglamento De Prevención, Mitigación Protección Contra Incendios, Capitulo I**

**Art. 2.-** Control y responsabilidad.- Corresponde a los cuerpos de bomberos del país, a través del Departamento de Prevención (B2), cumplir y hacer cumplir lo establecido en la Ley de Defensa Contra Incendios y sus reglamentos; velar por su permanente actualización.

#### **Normas De Protección, Contra Incendios En Bosques Y Malezas**

**Art. 329.-** Las personas naturales o jurídicas, instituciones públicas o privadas que sean propietarias, arrendatarias u ocupantes de cualquier tipo de predios boscosos, baldíos (lentos de maleza) o áreas densamente arboladas, están obligados a la adopción de las medidas de prevención contra incendios forestales y evitar los riesgos de exposición, en caso de cercanía a edificaciones. Siendo sancionados de acuerdo a lo que dispone nuestra legislación

#### **Capítulo IV, Obligaciones Y Sanciones**

**Art. 363.-** Queda prohibida toda práctica incendiaria, así como, la ejecución de fogatas en los medios urbanos o rurales, con excepción de las incineraciones por motivo legal o sanitario. En cuyo caso, las autoridades competentes respectivas, deben designar lugares específicos donde se pueda practicar estas labores, tomando las debidas precauciones contra la extensión del fuego. De igual manera, en los terrenos baldíos se prohíbe la acumulación de materiales y escombros combustibles, siendo

responsabilidad del vecindario de éstos y población en general, el evitar y denunciar combustiones innecesarias o que atenten a la integridad de personas, de bienes materiales o causen daños a la salud de sus habitantes o al ecosistema.

**Art. 364.-** El incumplimiento de las disposiciones de prevención, constituyen contravenciones, las cuales serán notificadas por el Primer Jefe del Cuerpo de Bomberos de cada jurisdicción, previo informe de la unidad respectiva mediante oficio a la autoridad competente, para la aplicación de la sanción respectiva, de conformidad con el Capítulo III Art. 34 del Reglamento General para la aplicación de la Ley de Defensa Contra Incendios, publicado en el Registro Oficial N° 834 de 17 de mayo de 1979.

El análisis de una amenaza de incendio forestal se puede analizar por su origen:

- De origen natural: por tormentas eléctricas (rayos) y erupciones volcánicas
- De origen antrópico: causadas por la mano del hombre, se puede clasificar en:
  - Origen accidental: explosiones, corto circuitos, industrias, etc.
  - Origen humano intencional: los eventos maliciosos provocados por pirómanos.
  - Origen humano no intencional: quema agrícola, fogatas, quema de basura, colillas de cigarrillos, fósforos arrojados.

## CAPITULO III

### 3. MÉTODOLÓGÍA

#### 3.1. NIVEL DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Exploratoria

Se buscó un modelo innovador que pronostique las alertas tempranas de zonas susceptibles a incendios forestales en el DMQ, el estudio tiene como punto de partida el monitoreo de las condiciones meteorológicas, para incrementar el parámetro de cobertura vegetal

- Vegetación húmeda es considerada sana, vigorosa, verde.
- Vegetación seca es considerada como enferma y altamente combustible

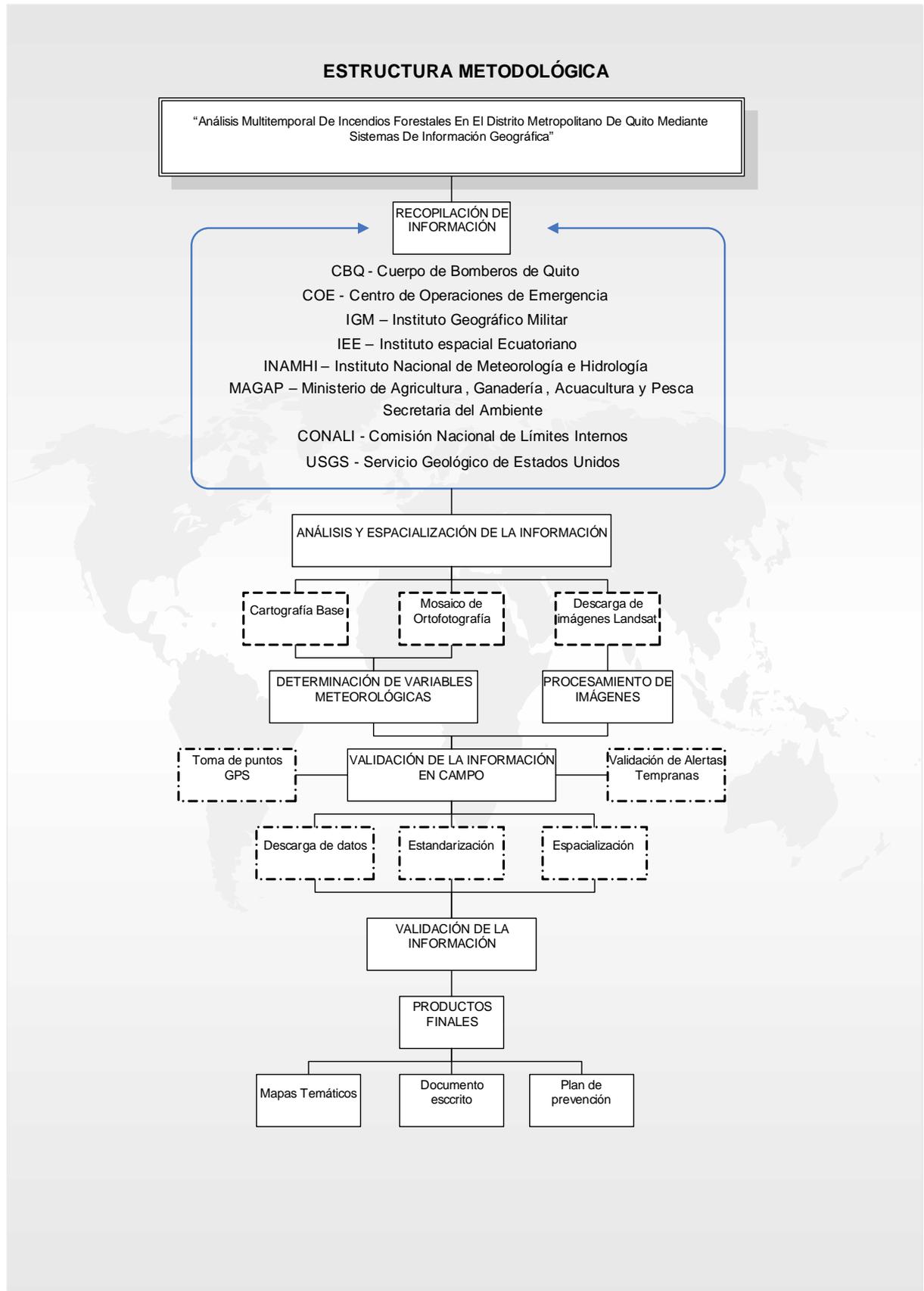
Utilizado con ello el análisis de imágenes satelitales desde una óptica espacio – tiempo, aprovechando la tecnología instrumental de los sistemas de información geográfica, para determinar los umbrales de cantidad, calidad y desarrollo de la cobertura vegetal del área de investigación.

En base al resultado de gabinete, se realiza una verificación acerca del comportamiento de la vegetación en campo, determinando así el grado de ocurrencia y posible predicción de la susceptibilidad a incendios.

##### 3.1.2. Descriptivos.

Se probó in-situ el nuevo modelo de alerta temprana con en zonas estratégicas predeterminadas y en un período de tiempo en el DMQ, estableciendo cantidad, calidad y susceptibilidad a la quema de la cobertura vegetal, donde se elaborará en conjunto al Cuerpo de Bomberos de Quito – CBQ y técnicos del Centro de Operaciones de Emergencia - COE pruebas de propagación de incendios con la utilización de fósforos y fosforera con el fin de simular la quema de vegetación y comienzo de incendios forestales, para luego ser representados mediante mapas temáticos.

**Figura 9** Estructura metodológica



## 3.2. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

### 3.2.1. Recursos Humanos

En los recursos humanos se incluyen las personas que participaron en la organización, estudio, y conducción del proyecto. El tipo y la cantidad de miembros del equipo variaron a medida que el proyecto avanzó en las etapas de comprobación de campo. Donde se asignaron roles y responsabilidades específicos a cada miembro del equipo del proyecto y se realizó mesa de planificación y discusión. El equipo del proyecto estuvo conformado por:

#### 3.2.1.1. Centro de Operaciones de Emergencia – COE

Un técnico del área geográfica y un técnico de alerta temprana, que dentro de sus funciones tienen monitorear las amenazas, las líneas de investigación para la prevención, preparación de las respuestas, alertas y respuestas. Los funcionarios que colaboraron con el proyecto son:

- Ing. Diego Jurado – Técnico Área Geográfica
- Ing. Carlos Proaño – Técnico de Sistemas de Alerta Temprana
- Sr. Fernando Altamirano - Conductor

**Foto 2** Técnicos del COE



Diego Montoya, 2015

**Foto 3** Técnicos del COE y ejecutor del proyecto



Diego Montoya, 2015

### 3.2.1.2. Cuerpo de Bomberos de Quito - CBQ

Tres bomberos técnicos especialistas en investigación de incendios quienes tienen capacitación y formación para prevenir, controlar y liquidar incendios, los miembros de la casaca roja fueron los únicos que manipularon y controlaron los simulacros de quema de vegetación. Los bomberos que colaboraron con el proyecto son:

- Ing. Wilmer Recalde - Especialista Civil de Investigación de Incendios
- Ing. Andrés Carrillo –Especialista Civil de Investigación de Incendios
- Cbo. Carlos Osorio Especialista de Investigación de Incendios

**Foto 4** Cuerpo de Bomberos Quito



Diego Montoya, 2015

**Foto 5** Cuerpo de Bomberos Quito



Diego Montoya, 2015

### 3.2.1.3. Ejecutor del Proyecto

El ejecutor del proyecto de titulación Diego Montoya que dentro del trabajo desempeño funciones de recolección de información secundaria, generación de cartografía básica para campo, trazado de rutas e identificación de zonas para los

simulacros de quema, monitoreo y toma de datos, toma de puntos GPS, procesamiento de datos y documentación del proyecto.

**Foto 6** Ejecutor del proyecto y bombero



Diego Montoya, 2015

**Foto 7** Verificaciones en campo Investigador de Proyecto y bombero



Diego Montoya, 2015

**Foto 8** Equipo de trabajo



Diego Montoya, 2015



**Foto 9** Vestimenta y equipo del CBQ



Diego Montoya, 2015

### 3.2.2.2. Equipos

**Vehículos:** se utilizaron en el trabajo de campo con las instituciones son del CBQ y COE son Chevrolet DMax 4x4 CS con sus colores institucionales.

**Foto 10** Camioneta Cuerpo de Bomberos



Diego Montoya, 2015

### 3.2.3. Logística

La logística del proyecto fue un trabajo en conjunto por parte del departamento de investigación de incendios del Cuerpo de Bomberos de Quito, el departamento de prevención y control de riesgos del Centro de Operaciones de Emergencia de la municipalidad de Quito y el ejecutor del proyecto de titulación, aprovechando las actividades anuales de investigación en vísperas de la temporada de verano y con ello la aparición de incendios forestales en el DMQ.

### 3.3.RECURSOS FINANCIEROS

Los recursos financieros son de carácter económico para el desarrollo de un proyecto ya sean estos propios o de otra fuente, para el presente proyecto el financiamiento fue el siguiente.

**Tabla 1** Tabla de Financiamiento

ITEM	COSTO USD	FINANCIAMIENTO	
		PROPIO	OTRA FUENTE
Anemómetro	\$ 70,00		\$ 70,00
Binoculares	\$ 114,00		\$ 114,00
Cámara Nikon	\$ 494,00	\$ 494,00	
GPS Garmin 60CSx	\$ 500,00		\$ 500,00
Laptop HP i7	\$ 949,00	\$ 949,00	
Viáticos (Transporte-Hospedaje-Alimentación) 5 salidas	\$ 200,00		\$ 200,00
Cartas Topográficas - IGM / 18 Cartas	\$ 36,00		\$ 36,00
<b>Total</b>	<b>\$ 2.363,00</b>	<b>\$ 1.443,00</b>	<b>\$ 920,00</b>

Diego Montoya, 2015

### 3.4.CRONOGRAMA DE TRABAJO

**Tabla 2** Cronogramas del Proyecto de titulación

ACTIVIDADES	ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1 Recopilación de información preliminar o secundaria	■	■	■													
2 Descarga de imágenes satelitales		■		■		■		■		■						
3 Tratamiento de la información recolectada			■	■	■	■	■	■	■	■	■					
4 Análisis y generación de información cartográfica					■	■	■	■	■	■	■					
5 Trabajos de campo		■		■		■		■		■						
6 Tabulación y comprobación de los datos obtenidos en campo			■		■		■		■		■					
7 Generación de mapas temáticos								■	■							

Diego Montoya, 2015

### **3.5. MODALIDAD DE INVESTIGACION**

#### **3.5.1. De Gabinete.**

Es necesaria la recopilación de información preliminar que permita tener una base sustentable para la elaboración del presente estudio, la información secundaria a utilizarse es:

- Cartografía base a escala 1:25.000 (centros poblados, vías, ríos, límites cantonales y parroquiales) Fuente: IEE.
- Mosaico de Ortofotografía del Distrito Metropolitano de Quito, generada por el Instituto Espacial Ecuatoriano (institución denominada anteriormente CLIRSEN)
- Descarga de imágenes satelitales Landsat.
- Determinación de alertas tempranas según el comportamiento de la cobertura vegetal

Se procede a realizar una recopilación de información secundaria e insumos necesarios para el análisis multitemporal de incendios forestales en el DMQ, que son la cartografía temática de cobertura y uso de la tierra, cobertura vegetal, mapa base, mosaicos de ortofotos, imágenes satelitales y algunos aspectos biofísicos de la zona de estudio.

Se realizó una recopilación de información de la zona de estudio, sobre cobertura vegetal y uso de la tierra a escalas 1:50 000, 1: 25 000 y mayores en MAGAP, MAE, IEE, Gobiernos seccionales y otras instituciones públicas y privadas como Consult Geo.

##### **3.5.1.1. Cartografía base**

En esta fase se recopila la cartografía base actualizada en formato digital, a escala 1:25 000 con los límites de la CELIR ajustados a la escala.

El Sistema Geodésico de referencia horizontal utilizado, es el Geocéntrico para las Américas (WGS84), compatible con el sistema de posicionamiento satelital GPS, y cuenta con las siguientes características:

- |                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| ▪ Datum horizontal:        | WGS84           |
| ▪ Época de referencia:     | 1984            |
| ▪ Elipsoide de referencia: | WGS84           |
| ▪ Semieje mayor:           | 6378137.00      |
| ▪ Achatamiento Polar:      | 1/298.257223563 |

Es importante aclarar que los Sistemas de Referencia Geocéntricos WGS84 y SIRGAS (ITRF94), en términos prácticos para este estudio, se consideran equivalentes.

El sistema de representación plana es la proyección UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR - UTM, con los siguientes parámetros:

- Latitud origen: 0° 00' 00"
- Longitud origen: 81° 00' 00" W
- Falso Este: 500.000,00 m.
- Falso Norte: 10'000.000 m.
- Factor de Escala MC: 0.9996

### **3.5.1.2. Mosaico de Ortofotos**

El mosaico es la agrupación secuencial ordenada de fotografías aéreas, barriendo grandes superficies de territorio, se realiza un proceso de tratamiento como.

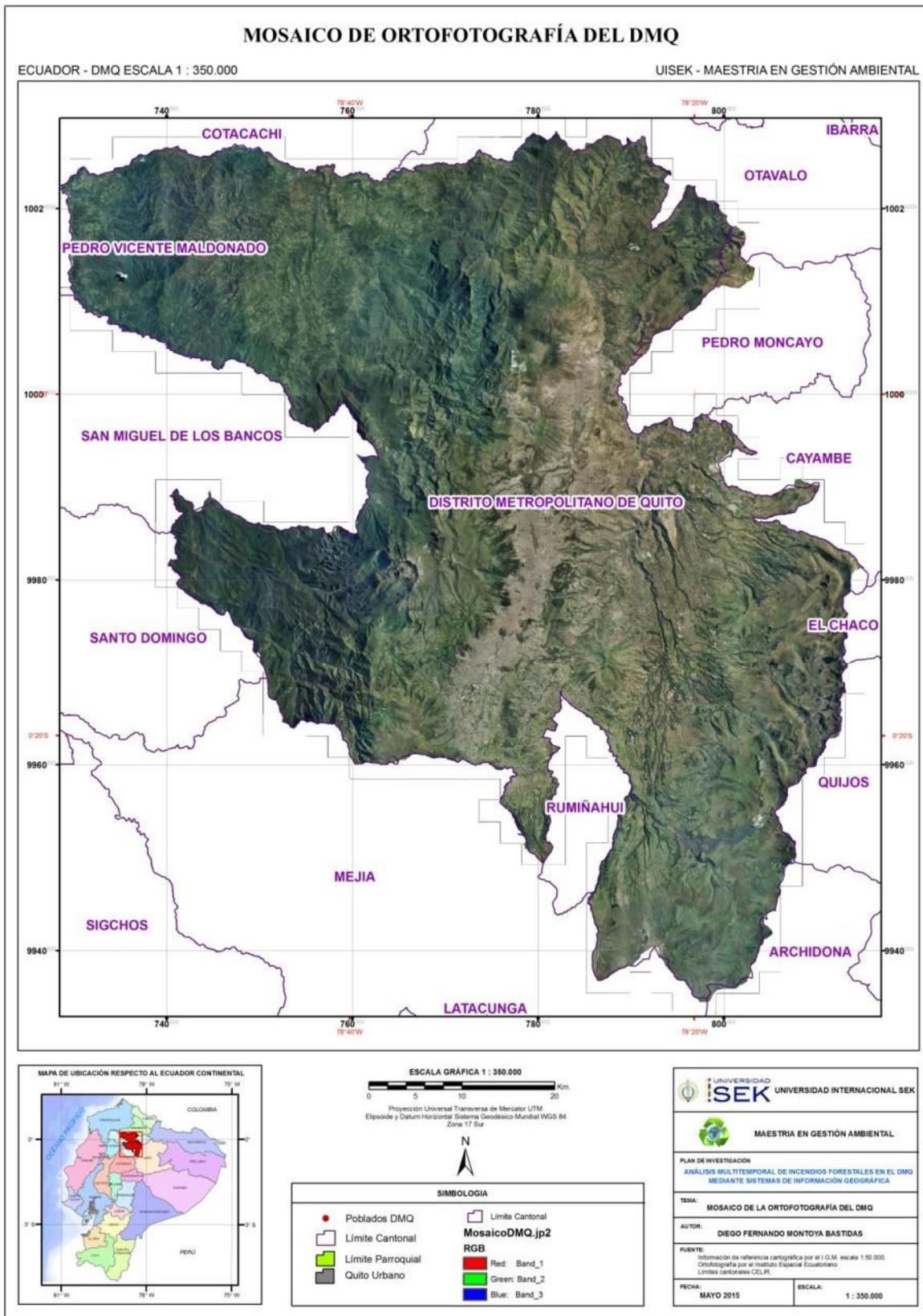
- Proceso de tratamiento de ortorectificación
- Proceso de georeferenciación es realizado con la toma de puntos de control tomados con GPS de doble frecuencia y enlazados a puntos de referencia fija de la red que posee el Instituto Geográfico Militar – IGM

La fuente de consulta fue el Instituto Espacial Ecuatoriano realizado en el año 2011, en proyección UTM, elipsoide y datum WGS 84.

En el mapa que se presenta la ortofotografía del Distrito Metropolitano de Quito, que es un insumo fundamental para apreciar la ubicación espacial en campo y gabinete.



Mapa 1 Mapa del mosaico de ortofotografías



Diego Montoya, mayo 2015

### 3.5.1.3. Imágenes Satelitales

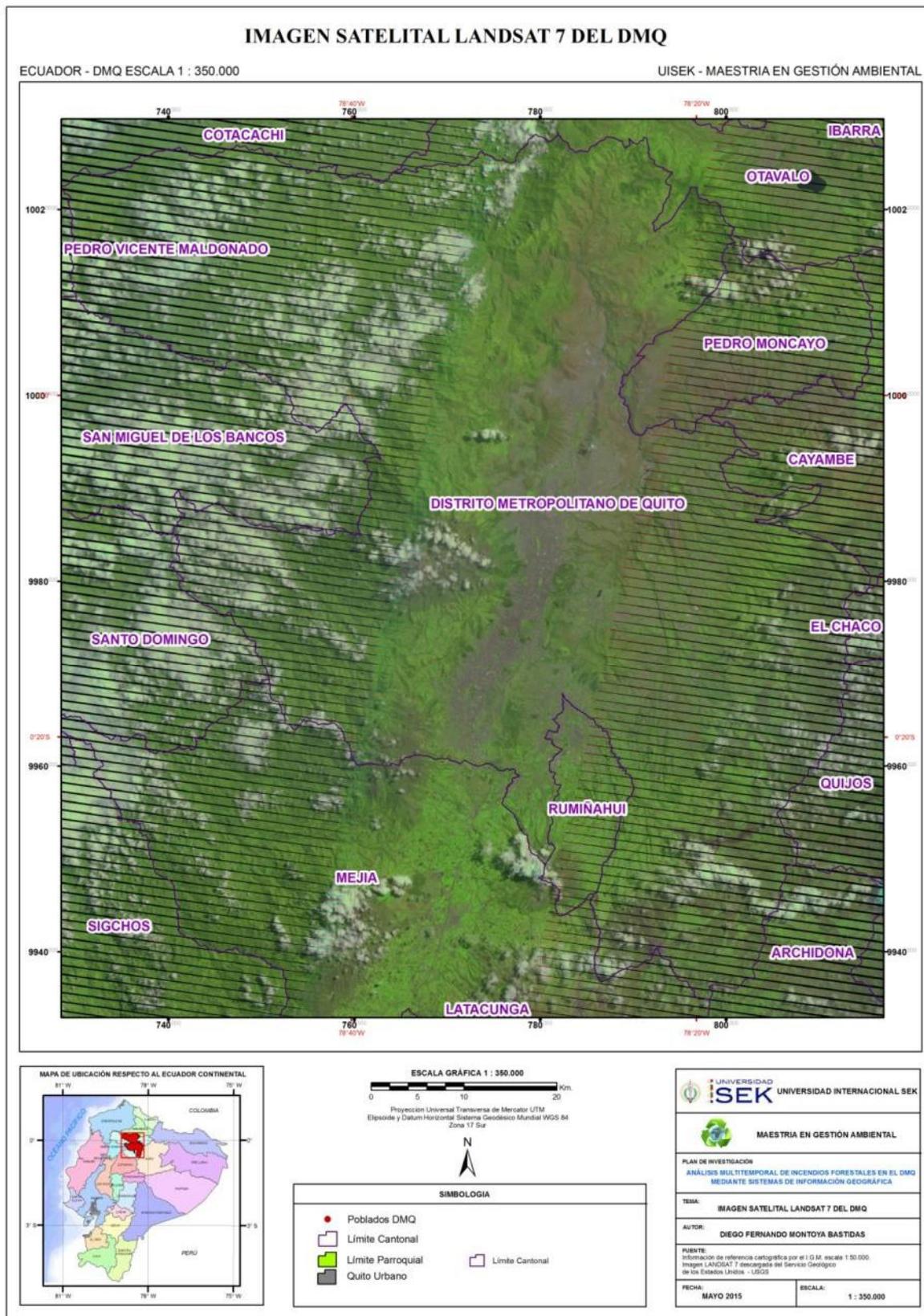
Una imagen satelital se define como la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores recogen la información reflejada por la superficie de la Tierra que luego es enviada de regreso a ésta y que procesada convenientemente, entrega valiosa información sobre las características de la zona representada. (Carlos Gonzaga, 2014)

Landsat 8 fue desarrollado como una colaboración entre la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). NASA llevó el diseño, construcción, fases de calibración lanzamiento y en órbita, durante los cuales el satélite se llamó la Misión de Continuidad de Datos de Landsat (LDCM). El 30 de mayo de 2013, USGS asumió las operaciones de rutina y el satélite Landsat 8. convirtió USGS conduce actividades post-lanzamiento de calibración, operaciones de satélites, la generación de productos de datos y el archivo de datos en la Observación de Recursos Terrestres y Ciencia Centro (EROS).

El satélite Landsat 7 pasa cada 16 días al igual que Landsat 8 pero separados entre los ellos con 8 días sobre la República del Ecuador, por lo cual se ha discriminado las imágenes más óptimas de un periodo de 12 meses, desde el 8/06/2014 al 19/06/2015, siendo un limitante el porcentaje de nubes que existe en cada escena, el cual se muestra en el siguiente mapa:



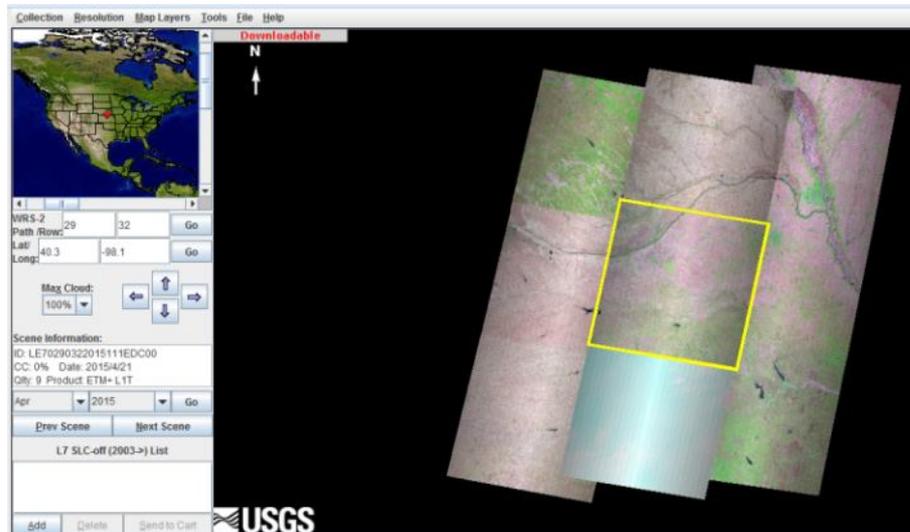
Mapa 2 Mapa de imagen satelital Landsat 7 del DMQ



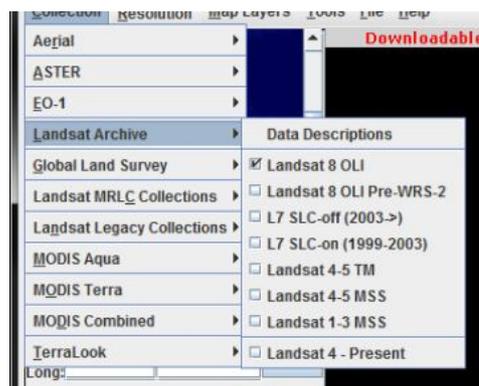
Diego Montoya, mayo 2015

A continuación se detalla el procedimiento de descarga de imágenes desde el portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos - USGS desde el visualizador GLOVIS, que aloja información gráfica de los satélites Landsat 7 y Landsat 8.

1. Desde el portal “glovis.usgs.gov” , el sistema requiere tener actualizado el sistema JAVA



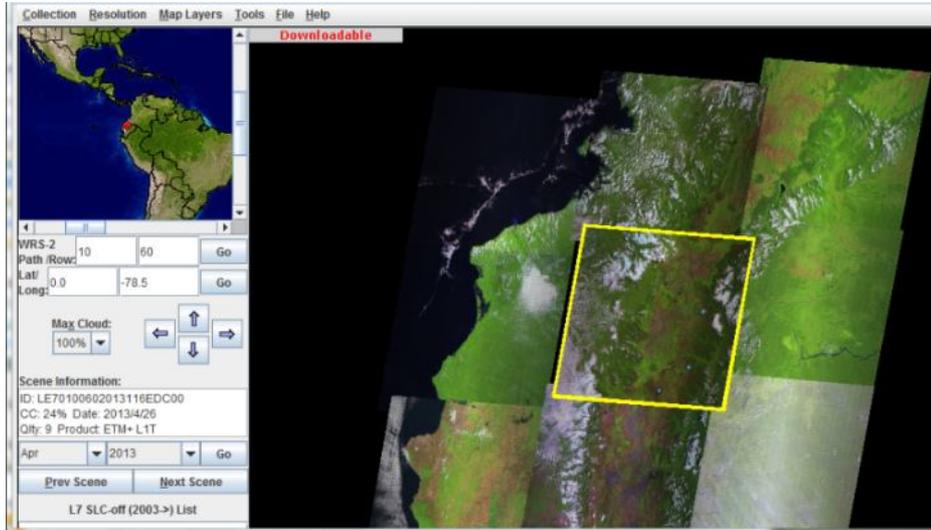
2. COLLECTION, opción LANDSAT ARCHIVE y en el menú L7 SLC y Landsat 8



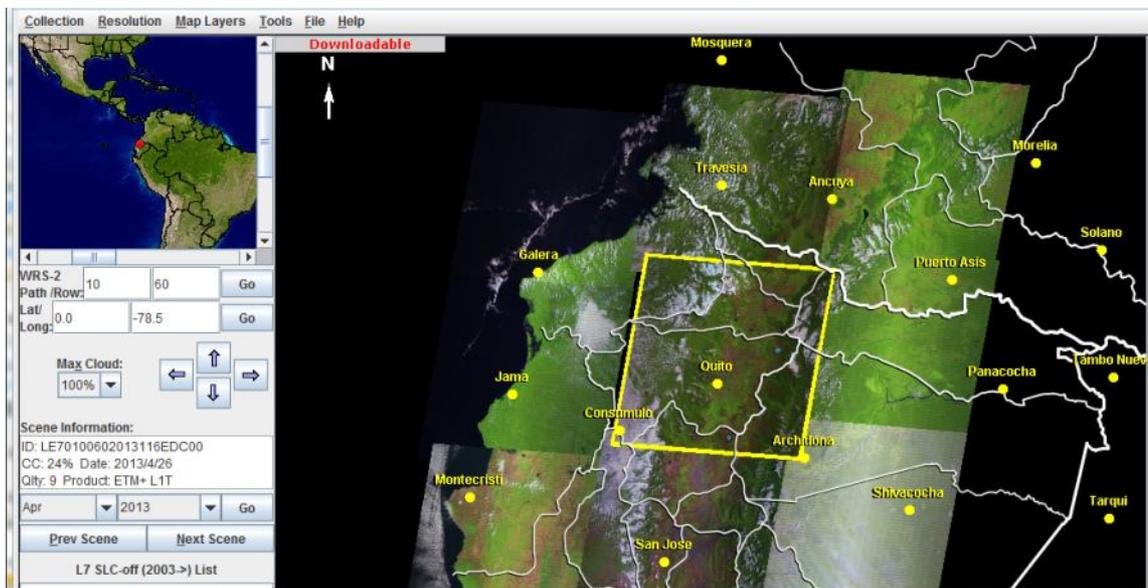
3. En el menú de mapa se determina las imágenes que el usuario requiere de cualquier zona del planeta; para ello se categoriza por coordenadas en Lat (latitud) y Long (longitud) y Path (filas) y Row (columnas).

Para el caso del Ecuador fluctúa desde es Lat -4.3 al 1.4 y Long -76.3 al -81.0 y el Path 11 al 8 y el Row del 59 al 63.

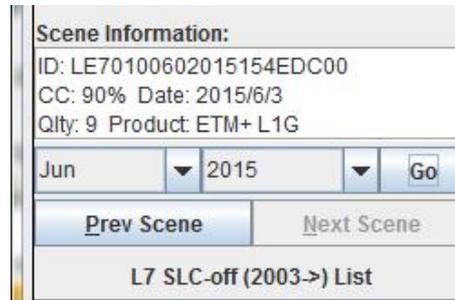
Para la zona del DMQ es Lat 0.0 y Long -78.5 y el Path 10 y Row 60



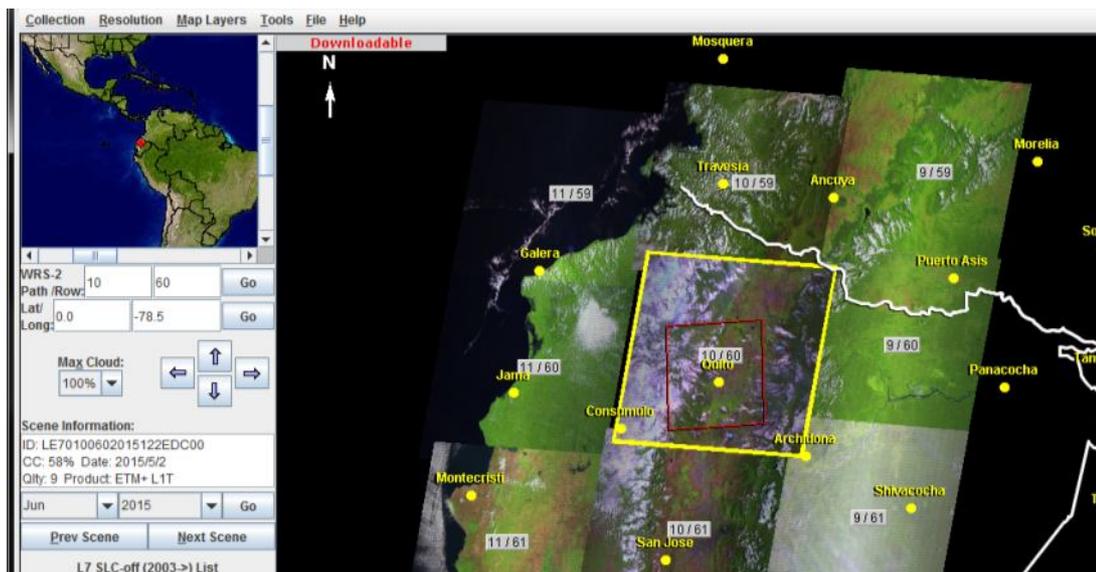
4. En el menú MAP LAYERS (capas del mapa) se activa las capas de información complementaria tal como norte, ciudades, límite de país, cantón, ríos, vías, cuerpos de agua todos ellos los más representativos de la zona.



- En la visualización inferior del menú se despliega para elegir la fecha de interés y se visualiza la información de la imagen disponible como: ID (identificación), CC (porcentaje de nubes), DATE (fecha de toma)



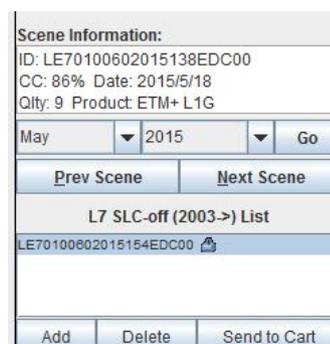
- Además en el menú MAP LAYERS/READ SHAPEFILE, existe la opción de ingresar un SHP de una zona específica, se debe tener en cuenta que el SHP se encuentre en coordenadas geográficas.



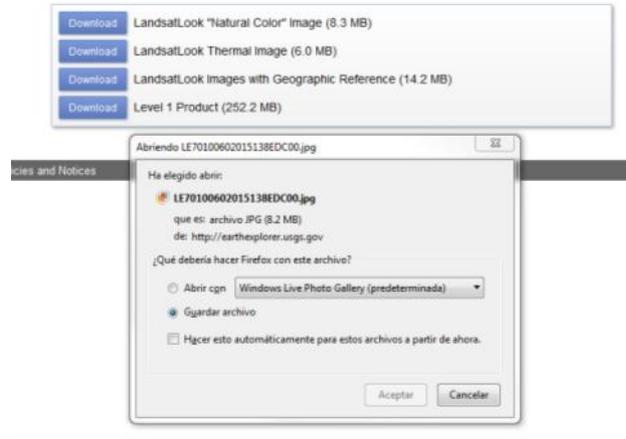
- La disponibilidad de la imagen para su descarga se muestra en la parte superior izquierda de la pantalla



- Una vez elegida la imagen, agregamos la opción Add



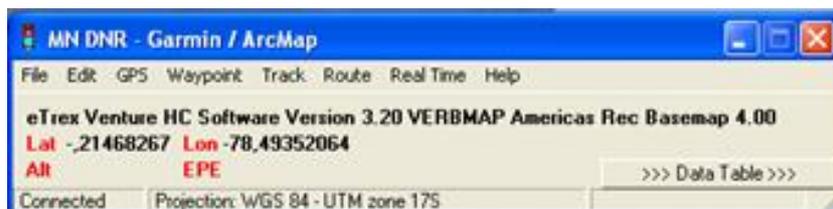
9. El requisito para su descarga es tener cuenta de registro y se elige la calidad de la imagen, la cual está relacionada al tamaño del archivo.



### 3.5.2. De campo

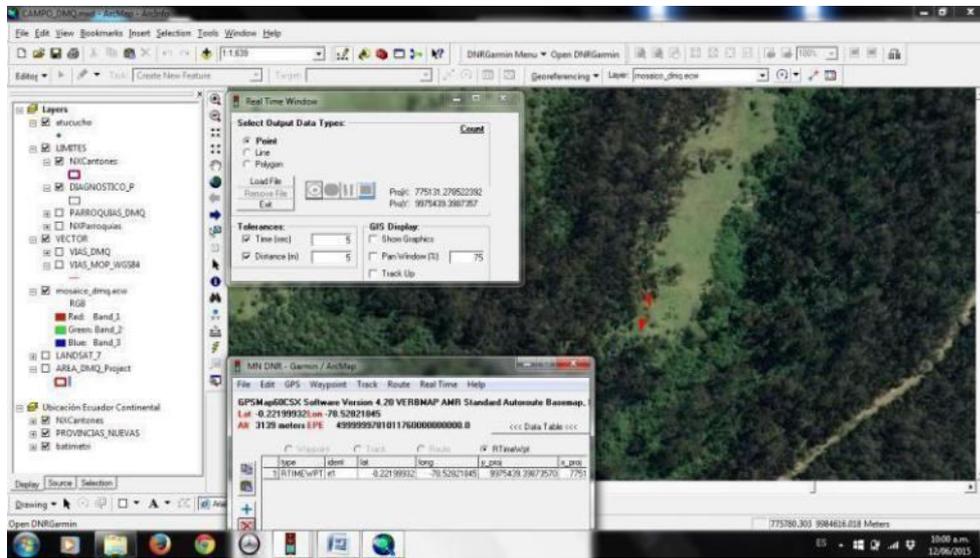
Existen varias maneras de navegar en campo para ubicar el o los objetos que se pretenden localizar, los medios utilizados son cartas topográficas, brújula, GPS y ortofotografía etc.

Para la navegación se utilizó la opción de manejo y conexión GPS existente en la interfaz GPS DNR Garmin.



Al configurar el equipo para la transmisión de información de la herramienta GPS y se activa en el menú REAL TIME

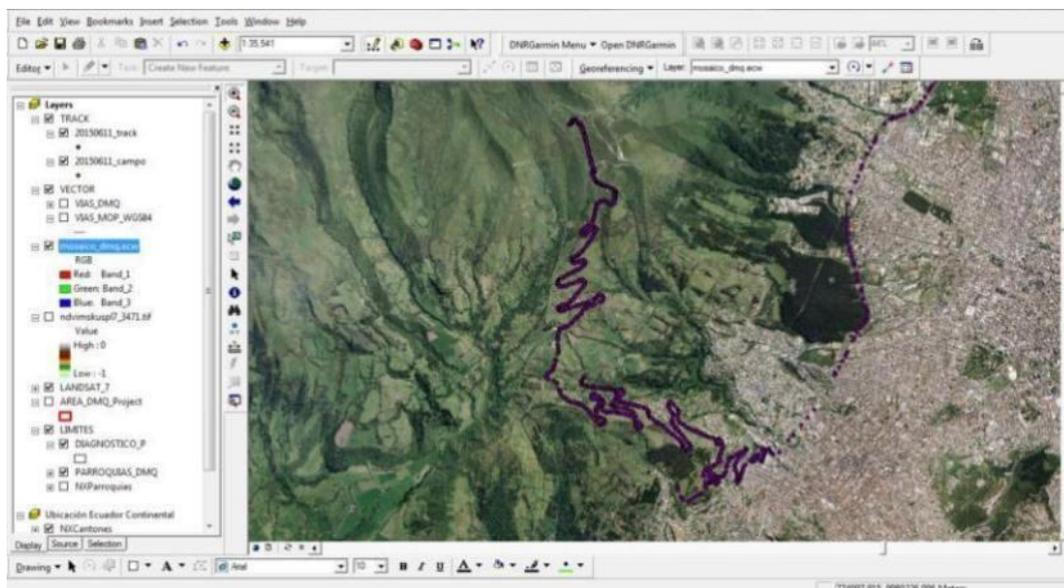
**Figura 12** Interfaz DNR Garmin



Diego Montoya, mayo 2015

En la figura 11 se muestra el interfaz del software DNR Garmin, el cual realiza la conectividad de la lectura de ubicación geográfica del GPS y muestra sobre la pantalla la posición exacta en tiempo real. Perminiendo guardar recorridos, denominados track.

**Figura 13** Track de trabajo de campo

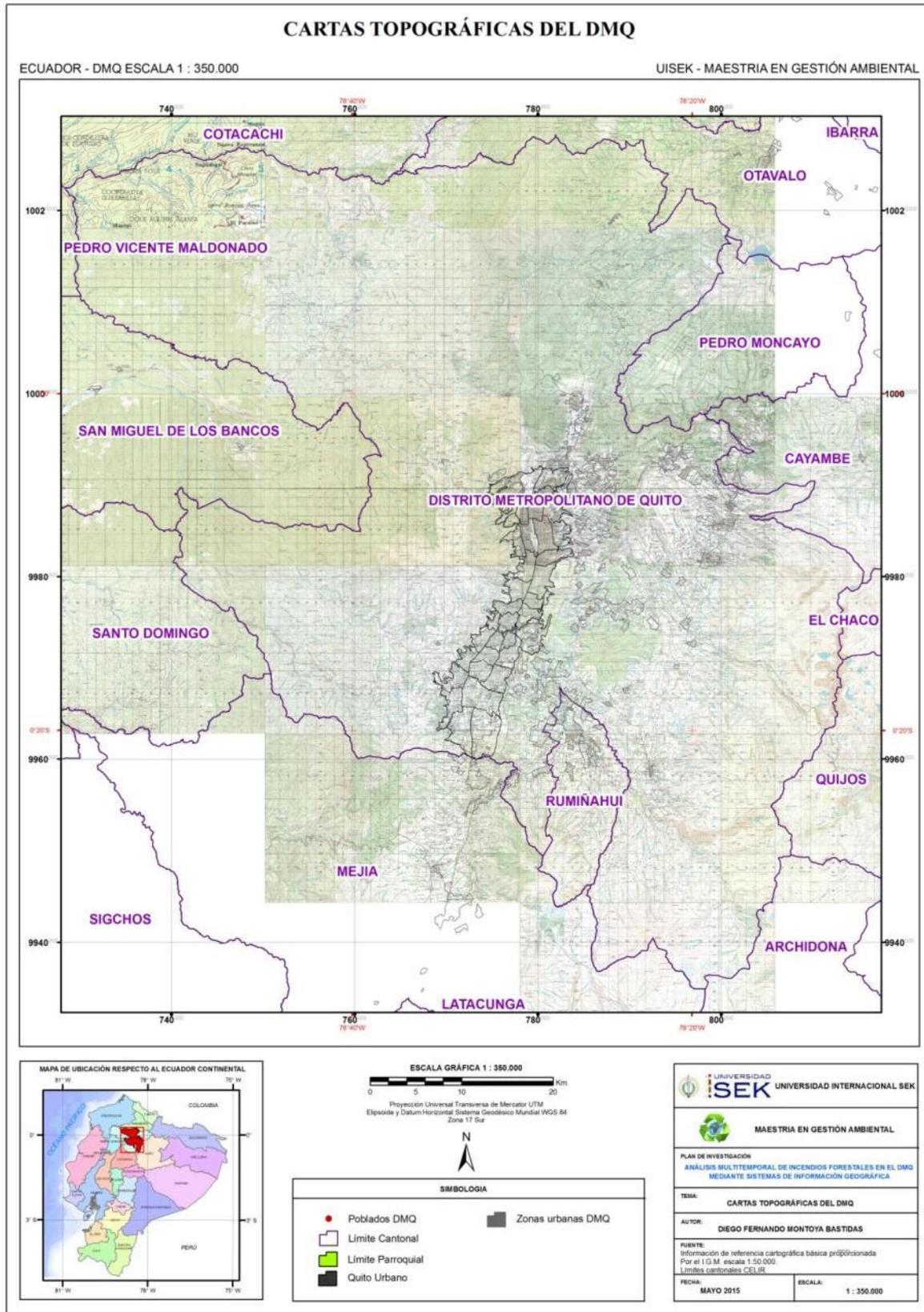


Diego Montoya, mayo 2015

En el mapa 3 se muestra las 18 cartas topográficas utilizadas de base para la navegación en campo y ubicación de ríos, poblados, vías, cotas, entre otros



Mapa 3 Mapa de cartas topográficas del DQM



Diego Montoya, 2015

### **3.6. MÉTODO**

#### **3.6.1. Método Hipotético - Deductivo**

El análisis de datos obtenidos antes y después del comportamiento de la cobertura vegetal para determinar un modelo de prevención de incendios forestales se pondrá en evidencia la efectividad del proyecto.

### **3.7. POBLACIÓN Y MUESTRA**

El Distrito Metropolitano de Quito es un Distrito de la provincia de Pichincha en el norte de Ecuador, es la jurisdicción formada sobre la base del Municipio de la capital de la República, la ciudad de San Francisco de Quito. El DMQ se divide en 8 administraciones zonales, las cuales contienen a 32 parroquias urbanas y 33 parroquias rurales y suburbanas, comprendido con un total de 4210,83 Km<sup>2</sup> y variaciones altitudinales de 500 hasta 4800 msnm. (IEE, 2013)

Según la posición geográfica, se ubica al Distrito Metropolitano de Quito en el centro de la provincia de Pichincha, donde sus límites son: al NORTE la provincia de Imbabura con los cantones Cotacachi y Otavalo, al SUR con los cantones Mejía y Rumiñahui; al ESTE con los cantones Pedro Moncayo y Cayambe, y en la provincia de Napo los cantones El Chaco y Quijos; y al OESTE los cantones Pedro Vicente Maldonado y San Miguel de los Bancos y la provincia de Santo Domingo de los Tsachilas con su cantón Santo Domingo.

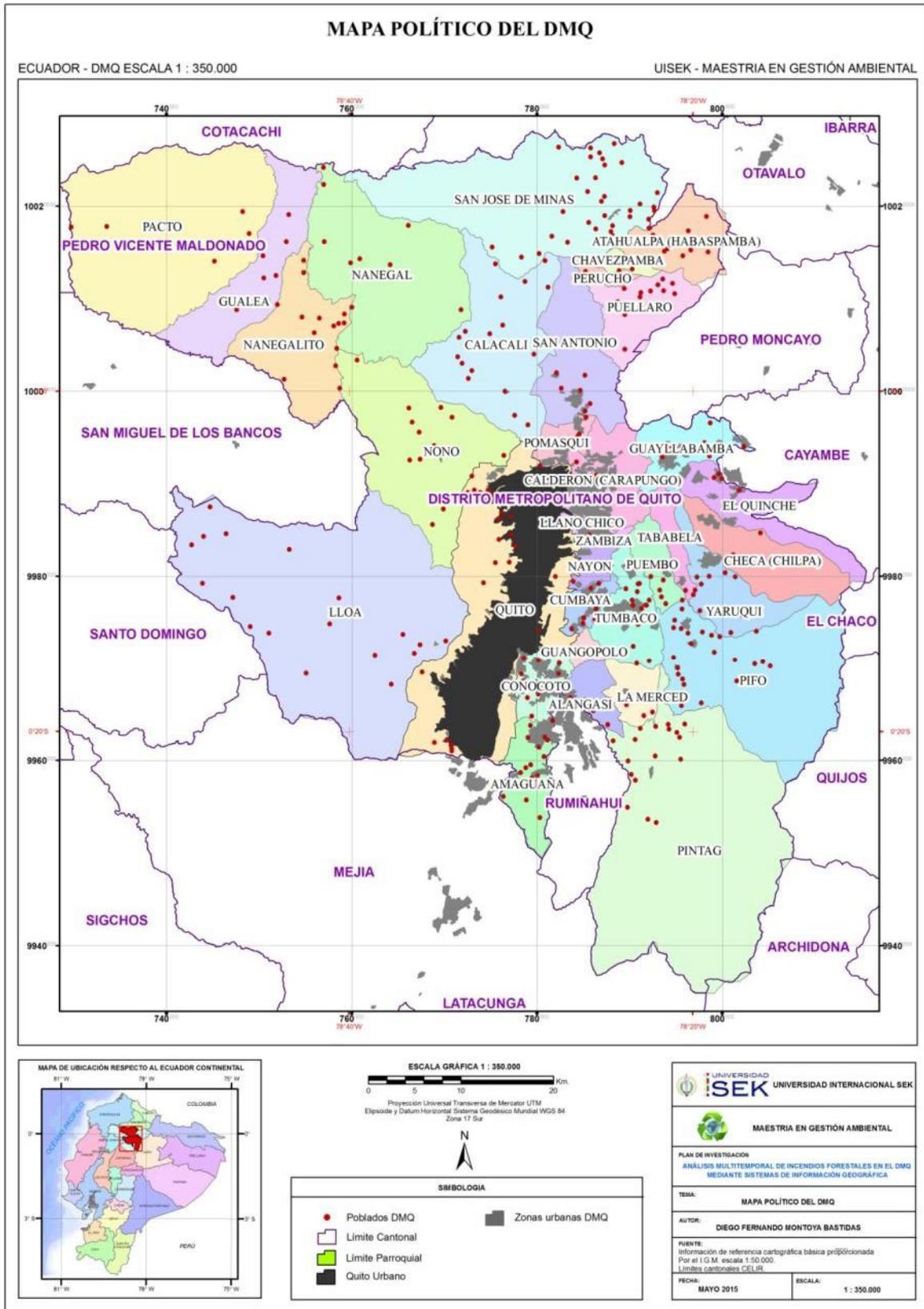
Las 32 parroquias urbanas del DMQ son: Belisario, El Inca, Magdalena, Carcelén, Guamaní Mariscal Sucre, Centro Histórico, Ñaquito, Ponceano, Chilibulo, Itchimbia, Puengasí, Chillogallo, Jipijapa, Quitumbe, Chimbacalle, Kennedy, Rumipamba, Cochapamba, La Argelia, San Bartolo, Comité del Pueblo, La Ecuatoriana, San Juan, Concepción, La Ferroviaria, Solanda, Cotocollao, La Libertad, Turubamba, El Condado, La Mena.

Dentro de las 33 parroquias rurales del DMQ tenemos: Alangasí, Amaguaña, Atahualpa, Calacalí, Calderón, Conocoto, Cumbayá, Chavezpamba, Checa, El Quinche, Gualea, Guangopolo, Guayllabamba, La Merced, Llano Chico, Lloa, Nanegal, Nanegalito, Nayón, Nono, Pacto, Perucho, Pifo, Pintag, Pomasquí, Puéllaro, Puenbo, San Antonio de Pichincha, San José de Minas, Tababela, Tumbaco, Yaruquí y Zámiza.

En el siguiente mapa se muestra la distribución política del DMQ, diferenciando claramente la parte urbana y rural.



Mapa 4 Mapa político del DMQ



Diego Montoya, 2015

Se realizaron 6 salidas de campo en acompañamiento del COE y el CBQ en fechas y lugares planificados en gabinete, establecido principalmente y que la toma del satélite Landsat pasa cada 8 días a las 10:30 horas aproximadamente sobre el territorio ecuatoriano. Los sitios fueron desinados acorde al modelo de alerta temprana de incendios forestales, disponibilidad de movilización y sitios de interés de las instituciones participantes.

Para cada salida de campo se tomaron 9 pruebas en lugares distintos en una misma zona de estudio, para el cual el cuerpo de bomberos realizaba los simulacros de incendios forestales con fósforos, fosforera y ayuda de hojas secas, distribuidos de la siguiente forma:

- Tres pruebas en puntos considerados como alerta Roja: donde se tenía como resultado la propagación inmediata del conato en todos los simulacros.
- Tres pruebas en puntos considerados como alerta Amarilla: donde se obtuvo una propagación moderada, no siendo efectiva en la totalidad de los simulacros.
- Tres pruebas en puntos considerados como alerta Verde: donde no se obtuvo la propagación en todos los simulacros.

Las fechas y lugares se muestran en la siguiente tabla y se plasman geográficamente en el mapa 5:

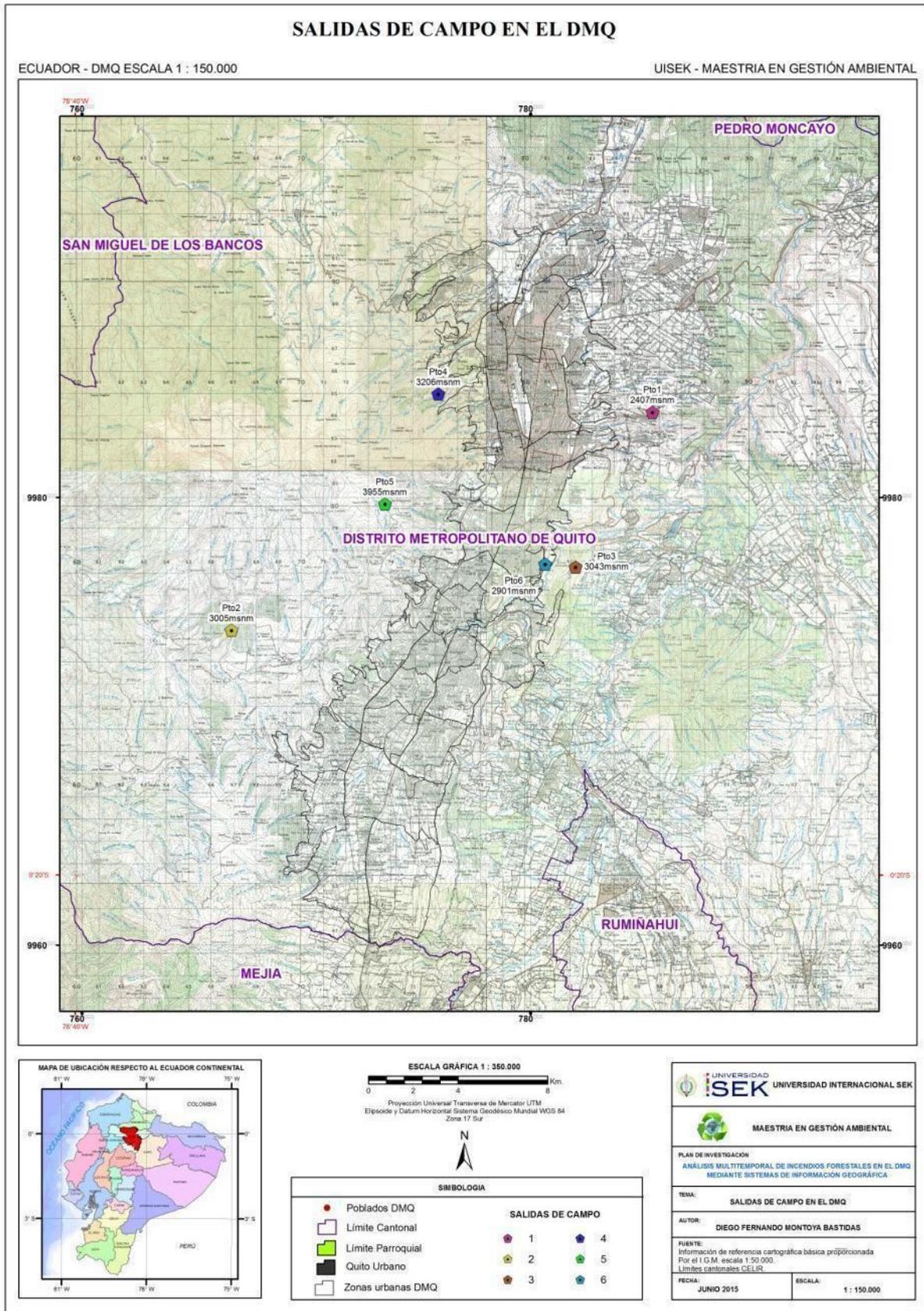
**Tabla 3** Sitios de muestreo de campo

SITIOS DE MUESTREO EN CAMPO					
No	Fecha	Lugar	Coordenadas		
			X	Y	Altura (msnm)
1	02-may-15	Rumiloma - Zámiza	785451,62	993,838,212	2407
2	10-may-15	San José del Cinto	766658,77	9974077,40	3005
3	18-may-15	Cerro del Auqui - Mira Valle	7820001,85	9976903,12	3043
4	26-may-15	Atucucho - Hacienda de las Carreras	775888,91	9984619,68	3206
5	03-jun-15	Cruz Loma – Teleférico	773501,35	9979715,93	3955
6	11-jun-15	Guápulo	780646,64	9977027,69	2901

Diego Montoya, 2015



Mapa 5 Mapa de salidas de campo en el DMQ



### 3.8. SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION

Los equipos y materiales seleccionados para este proyecto son de tipo prueba piloto y experimental, de esta manera unos equipos fueron comprados y otros son de uso propio.

Donde señalamos equipos y materiales utilizados en campo:

- Anemómetro: Es un instrumento meteorológico que se usa para medir la velocidad de viento, humedad, temperatura y altura. (Iten, Paul D, 1976)

**Foto 11** Anemómetro



- GPS: Es un instrumento que nos permite establecer en todo el globo terráqueo la posición de un objeto Para nuestro trabajo de campo utilizamos un GPS navegador Garmin 60 CSx el cual dentro de sus características posee a precisión de  $\pm 7$  m., altímetro barométrico (pendiente), brújula electrónica, resistente al agua, duración de la batería 18 horas, tarjeta microSD de 64 Mb y memoria adicional, toma de 1000 waypoints
- Binoculares
- Cámara fotográfica
- Computadora laptop
- Regleta de campo
- Hojas de recolección de datos en campo
- Mapa Plateado: Impresión de Mapa en formato A-2 para análisis de campo.

### 3.9. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS

La NASA en su página Landsat Science determina que: Landsat 8 medidas diferentes gamas de frecuencias a lo largo del espectro electromagnético - un color, aunque no necesariamente un color visible para el ojo humano. Cada variedad se llama una banda, y Landsat 8 tiene 11 bandas. Números Landsat sus rojos, azules, verdes y sensores como 4, 3 y 2, así que cuando los combinamos obtenemos una imagen de color verdadero

**Tabla 4** Bandas de Landsat 7

N° Banda	Ancho ( $\mu\text{m}$ )		Promedio	Resolución (m)
Band 1 Azul	0.45	0.52	0.485	30
Band 2 Verde	0.52	0.6	0.56	30
Band 3 Roja	0.63	0.69	0.66	30
Band 4 NIR	0.77	0.9	0.835	30
Band 5 SWIR1	1.55	1.75	1.65	30
Band 7 SWIR2	2.09	2.25	2.17	30
Band 8 Pancromática	0.52	0.9	0.71	15
Band 6 TIR	10.4	12.5	11.45	30/60

NASA – Landsat Science

**Tabla 5** Bandas de Landsat 8

N° Banda	Ancho ( $\mu\text{m}$ )		Promedio	Resolución (m)
Banda1- Aerosol costero	0.433	0.453	0.443	30
Banda 2 - Azul	0.45	0.515	0.4825	30
Banda 3 – Verde	0.525	0.6	0.5625	30
Banda 4 - Rojo	0.63	0.68	0.655	30
Banda 5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.845	0.885	0.865	30
Banda 6 – SWIR 1	1.56	1.66	1.61	30
Banda 7 – SWIR 2	2.1	2.3	2.2	30
Banda 8 – Pancromático	0.5	0.68	0.59	15
Banda 9 – Cirrus	1.36	1.39	1.375	30
Banda 10 – Infra Térmico (TIRS) 1	10.06	11.02	10.54	100
Banda 11 – Infra Térmico (TIRS) 2	11.05	12.05	11.55	100

NASA – Landsat Science

Las bandas que tiene el satélite Landsat 8 son:

**Band 1** detecta azules profundos y violetas. La luz azul es difícil de recoger porque está dispersa fácilmente por pequeños trozos de polvo y agua en el aire. Sus dos usos principales: la formación de imágenes en aguas poco profundas, y el seguimiento de las partículas finas como el polvo y el humo. NASA – Landsat Science

**Bandas 2, 3, y 4** son visibles azul, verde, y rojo.

**Banda 5** medidas del infrarrojo cercano, o NIR. Es importante para la ecología porque las plantas sanas reflejan el agua en sus hojas dispersa las longitudes de onda de nuevo en el cielo. Comparando con otras bandas, tenemos índices como índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI

**Bandas 6 y 7** de la cubierta diferentes rebanadas de infrarrojo de onda corta, o SWIR. Son particularmente útiles para contar la tierra húmeda de tierra seca, y para la geología: las rocas y suelos

**Banda 8** es la pancromática, funciona como una película en blanco y negro: en lugar de recoger colores visibles por separado, los combina en un solo canal. Debido a que este 0de 15 metros.

**Banda 9** Cubre una rebanada muy delgada de longitudes de onda: solamente  $1.370 \pm 10$  nanómetros, todo lo que aparece claramente en que debe estar reflejando muy brillantes y / o estar por encima de la mayor parte de la atmósfera.

**Bandas 10 y 11** se encuentran en el infrarrojo térmico, o TIR que ven calor. Informan sobre el terreno que es a menudo mucho más caliente.

Para nuestro análisis se determino que el porcentaje de nubes sea menos al 60% aproximado, para que el trabajo y discriminación sobre la imagen se útil. La información tomada desde portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos - USGS desde el visualizador GLOVIS fue:

**Tabla 6** Información de Escena de Landsat 7

LANDSAT 7				
INFORMACIÓN DE ESCENA				
N°	FECHA	ID	% NUBES	DESCARGA
1	19/06/2015	LE70100602015170EDC00	77%	NO
2	03/06/2015	LE70100602015154EDC00	90%	NO
3	18/05/2015	LE70100602015138EDC00	86%	NO
4	02/05/2015	LE70100602015122EDC00	58%	SI
5	16/04/2015	LE70100602015106EDC00	66%	NO



6	31/03/2015	LE70100602015090EDC01	63%	SI
7	15/03/2015	LE70100602015074EDC00	94%	NO
8	27/02/2015	LE70100602015058EDC00	89%	NO
9	11/02/2015	S/I	S/I	NO
10	26/01/2015	LE70100602015026EDC00	95%	NO
11	10/01/2015	LE70100602015010EDC00	94%	NO
12	25/12/2014	LE70100602014359EDC00	97%	NO
13	09/12/2014	LE70100602014343EDC00	93%	NO
14	23/11/2014	LE70100602014327EDC00	93%	NO
15	07/11/2014	LE70100602014311EDC00	76%	NO
16	22/10/2014	LE70100602014295EDC00	83%	NO
17	06/10/2014	LE70100602014279EDC00	63%	SI
18	20/09/2014	LE70100602014263EDC00	86%	NO
19	04/09/2014	LE70100602014247EDC00	72%	NO
20	19/08/2014	LE70100602014231EDC00	54%	SI
21	03/08/2014	LE70100602014215EDC00	71%	NO
22	18/07/2014	LE70100602014199EDC00	52%	SI
23	02/07/2014	LE70100602014183EDC00	98%	NO
24	16/06/2014	LE70100602014167EDC00	47%	SI
<b>TOTAL IMÁGENES DESCARGADAS</b>				<b>6</b>

Diego Montoya, 2015

**Tabla 7** Información de Escena de Landsat 8

<b>LANDSAT 8</b>				
<b>INFORMACIÓN DE ESCENA</b>				
N°	FECHA	ID	% NUBES	DESCARGA
1	11/06/2015	LC80100602015162LGN00	39%	SI x
2	26/05/2015	LC80100602015146LGN00	57%	SI x
3	10/05/2015	LC80100602015130LGN00	70%	NO
4	24/04/2015	LC80100602015114LGN00	70%	NO
5	08/04/2015	LC80100602015098LGN00	81%	NO
6	23/03/2015	LC80100602015082LGN00	51%	SI
7	07/03/2015	LC80100602015066LGN00	70%	NO
8	19/02/2015	LC80100602015050LGN00	90%	NO
9	03/02/2015	LC80100602015034LGN00	68%	NO
10	18/01/2015	LC80100602015018LGN00	77%	NO
11	02/01/2015	LC80100602015002LGN00	69%	NO
12	17/12/2014	LC80100602014351LGN00	72%	NO
13	01/12/2014	LC80100602014335LGN00	85%	NO
14	15/11/2014	LC80100602014319LGN00	91%	NO
15	30/10/2014	LC80100602014303LGN00	32%	SI x
16	14/10/2014	LC80100602014287LGN00	80%	NO
17	28/09/2014	LC80100602014271LGN00	74%	NO
18	12/09/2014	LC80100602014255LGN00	78%	NO



19	27/08/2014	LC80100602014239LGN00	59%	SI x
20	11/08/2014	LC80100602014223LGN00	62%	NO
21	26/07/2014	LC80100602014207LGN00	44%	SI x
22	10/07/2014	LC80100602014191LGN00	46%	NO
23	24/06/2014	LC80100602014175LGN00	87%	NO
24	08/06/2014	LC80100602014159LGN00	69%	NO
<b>TOTAL IMÁGENES DESCARGADAS</b>				<b>6</b>

Diego Montoya, 2015

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Meteorología de DMQ

Para la red hidrométrica se obtuvo el inventario de las estaciones operadas por el INAMHI y de otras instituciones, el cual nos permite conocer el escurrimiento superficial que es el parámetro del ciclo hidrológico que puede ser medido con mayor exactitud, si la red cumple características de ubicación y representatividad. Las estaciones con sus características y ubicación fueron espacializadas en la base cartográfica 1:50.000 del IGM.

Se analizaron, fundamentalmente, los parámetros correspondientes a precipitación y temperatura media del aire, como insumos principales para el estudio climático.

**Tabla 8** Estaciones Espacializadas Climáticas del DMQ

CODIGO	ESTACION	Coordenadas		ALTURA
		ESTE	NORTE	
M532	RIO PITA-HDA.PEDREGAL	787430	9943255	3600
M349	HDA.PINANTURA(LA COCHA)	794093	9952556	3250
M118	INIAP-SUPLEMENTARIA PORCINOS	777651	9959418	2650
M112	CONOCOTO	781176	9967384	2520
M354	SAN JUAN-PICHINCHA (CHILLOG.)	764350	9968291	3440
M002	LA TOLA	793124	9974615	2479
M054	QUITO-OBSERVATORIO	777903	9976198	2820
M114	TUMBACO	788222	9976295	2350
M335	LA CHORRERA	775086	9977140	3165
M606	QUITO-U.CENTRAL	777645	9977792	2870
M572	CUMBAYA	786767	9978766	2370
M024	QUITO INAMHI-INNAQUITO	779647	9980274	2789
M347	PUEMBO	794333	9980821	2460
M357	CANAL 10 TV.	775467	9981398	3780
M356	CANAL 4 TV.	776130	9981424	3500
M913	HDA.MI CIELO(PV18)	777192	9981653	3173
M346	YARUQUI INAMHI	798801	9982303	2600



M055	QUITO AEROPUERTO-DAC	779273	9984243	2811
M343	EL QUINCHE-PICHINCHA	801004	9986991	2605
M342	COTOCOLLAO	778807	9987139	2870
M345	CALDERON	786815	9989089	2690
M361	NONO	769748	9992833	2710
M341	GUAYLLABAMBA	795832	9993791	2150
M009	LA VICTORIA INERHI	798621	9994129	2240
M210	VINDOBONA	788069	9999016	2060
M115	SAN ANTONIO DE PICHINCHA	785464	9999105	2430
M358	CALACALI INAMHI	776854	9999880	2810
M339	NANEGALITO	757781	10007068	1610
M214	PERUCHO INECCEL	786881	10012134	1830
M338	PERUCHO INAMHI	787035	10012634	1820
M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500
M336	PACTO	748516	10015865	1160
M587	NANEGAL	759187	10016453	1180
M046	PACHIJAL MASHPI	730325	10017851	560
M612	GUAYCUYACU	742601	10018000	1720
M337	SAN JOSE DE MINAS	788317	10019498	2440
M213	LA PERLA	757706	10021595	1260
M721	MESA MIRAVALLE(DEL CHONTAL)	751794	10024579	960

INAMHI, 2015

#### 4.1.1. Precipitación

Los cálculos para obtener valores medios mensuales y anuales de las alturas de precipitaciones, fueron hechos en base a todo el período de años de observación de cada estación y detallado año por año. Habiéndose procedido a eliminar los valores ilógicos antes de calcular los medios, como se explicó anteriormente.

En el siguiente cuadro se presenta los valores medios mensuales y sus totales anuales de las precipitaciones sobre el período más largo posible.

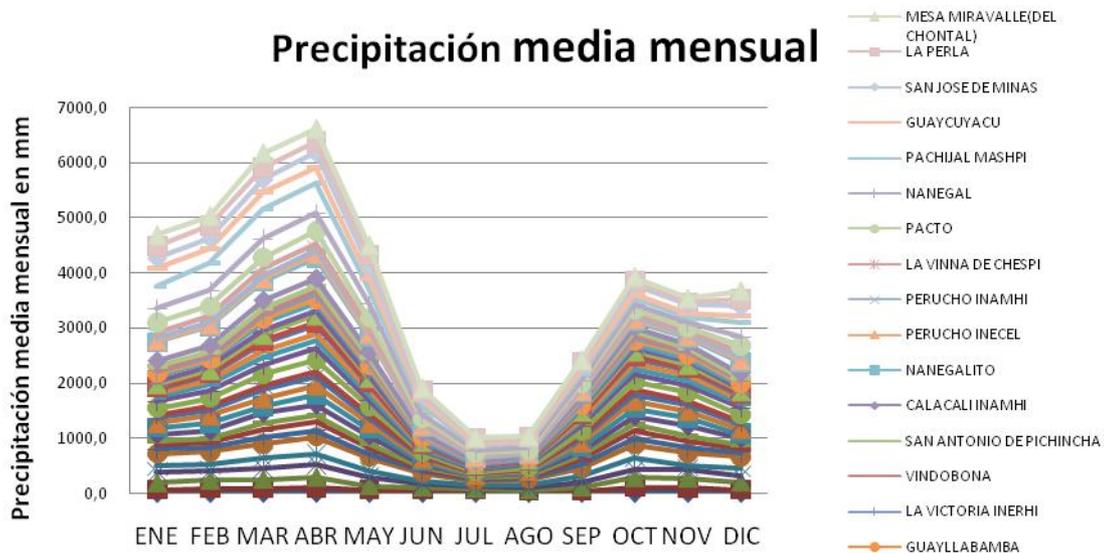
**Tabla 9** Precipitación Media Mensual (mm) de Estaciones Meteorológicas

CODIGO	ESTACION	jun-14	jul-14	ago-14	sep-14	oct-14	nov-14	dic-14	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	PROME
M532	RIO PITA-HDA.PEDREGAL	56.7	64.6	39.6	45.2	101.5	98.4	64	62.6	83.2	88	93.5	58.3	67.1
M349	HDA.PINANTURA(LA COCHA)	54.9	26.4	23.8	70.4	187.3	180.3	140.7	130.3	156	169.6	202.8	77.2	97.7

	INIAP-SUPLEMENTARIA													
M118	PORCINOS	62.4	27.7	36.5	87.5	144.5	145.9	111.5	186.3	153.1	178.3	217.9	148.9	88.0
M112	CONOCOTO	27.8	20.9	41.7	108.9	215.3	64.5	143.5	115.8	124.4	195.7	196.5	109.4	88.9
M354	SAN JUAN- (CHILLOG.)	158	83.9	99.1	141.7	232.5	236.3	199.9	225.8	237.2	256.9	306.1	246	164.5
M002	LA TOLA	30.4	12.5	17.5	58.5	107.7	103	73.6	69.3	76.3	118.2	113.2	70.8	57.6
M054	QUITO-OBSERVATORIO	41.2	29.5	28.3	95.1	140.2	99.3	69.3	81.9	87.2	134.2	157.4	103.4	71.8
M114	TUMBACO	30.5	15.2	14.1	64.4	111.5	110.8	64.1	71.8	75.4	115.7	117.6	79.5	58.7
M335	LA CHORRERA	64.6	24.6	52	74.2	151.6	175.4	130.6	117.7	133.3	195.1	194.3	149.4	96.1
M606	QUITO-U.CENTRAL	50.3	15.4	28.4	84.8	142.9	145.1	75.3	118.9	138.5	118.6	188.7	112.9	77.5
M572	CUMBAYA	49.5	13.4	29.5	85.9	135.5	131.5	88.1	86.6	140.9	145.9	160.1	109.6	76.2
M024	QUITO INAMHI	42.2	19.2	22.7	67.2	116.7	108.2	92.7	83.4	108.7	150.9	164.6	103.7	67.0
M347	PUEMBO	21.4	13.1	14.6	54.4	103.3	78.8	38.9	60.2	52.1	90.1	93	72	46.4
M357	CANAL 10 TV.	47.8	23.8	22.5	78.1	133.7	147.5	126.2	127.7	148.2	194.3	209.9	125.9	82.8
M356	CANAL 4 TV.	30.7	35.1	39	99.5	127.3	124.9	125.7	128.8	132.6	173.4	216.9	118.2	83.2
M913	HDA.MI CIELO(PV18)	40.1	27.2	35.6	76.9	108.5	98.8	85.1	78.2	126.9	143.8	137.2	109.1	67.5
M346	YARUQUI INAMHI	29.1	11.4	12.1	52.3	95.1	89.5	64.7	63.9	72.2	117.1	128.7	84.4	50.6
M055	QUITO AEROPUERTO-DAC	36.1	13.1	14.8	58.5	96.3	88.8	79.7	81.8	99.9	139.7	151.5	99.7	55.3
M343	EL QUINCHE-PICHINCHA	13.9	5.1	4	14.8	34.5	32.8	31.2	27.8	25.9	44.2	52	30.1	19.5
M342	COTOCOLLAO	33.8	23.1	20	59.4	84.8	72.1	42	59	64.5	108.9	128.2	87.3	47.9
M345	CALDERON	16.7	3.7	5.8	45.4	64.6	54.7	41.7	51.1	64.5	78.8	74.5	49.1	33.2
M361	NONO	40.3	18.5	15.8	45.7	76.7	70.7	74.5	93.2	92.8	137.4	152	105.5	48.9
M341	GUAYLLABAMBA	21.2	10.3	9.9	34.6	59.8	49.4	31.7	47.9	36.8	71.7	70.5	60.2	31.0
M009	LA VICTORIA INERHI	28.5	8.6	7.7	32.7	63.7	50.2	55.2	45.2	51.4	72.7	95.3	57.8	35.2
M210	VINDOBONA	17.7	8.8	7.9	38.8	47.7	35.7	20.7	34.1	40.2	48.3	68.3	49	25.3
M115	SAN ANTONIO DE PICHIC	19.6	6.6	6	28.8	51.8	34.9	22.3	43.8	43.6	63.8	67.2	57.7	24.3
M358	CALACALI INAMHI	28.2	15.7	12.8	45.5	67.9	80.5	76.7	99.8	102.2	141.1	130.2	79.2	46.8
M339	NANEGALITO	118.9	65.3	48.5	80.4	107.6	110	200.3	341.7	349.3	341.1	375.7	289.8	104.4
M214	PERUCHO INECEL	21.8	21.5	13.2	37.2	51.4	31.9	51.5	43.3	47.3	62.9	78.5	55.9	32.6
M338	PERUCHO INAMHI	22.3	21.5	12.4	32.8	51.4	29	55.9	43.4	48.2	62.4	77.6	54.4	32.2
M211	LA VINNA DE CHESPI	16.7	11.2	15.6	38.5	50.3	47.5	67.8	88.4	108.9	129.8	109.3	55.9	35.4
M336	PACTO	74.7	29.7	26.8	46.6	57.7	79	131.5	182.6	165.9	184.1	228.9	161.4	63.7
M587	NANEGAL	87	43	45	57.7	95.4	81.3	151.7	246.1	287.8	352.1	323.8	267.3	80.2
M046	PACHIJAL MASHPI	167.2	77.1	84.4	110.6	122.9	92.4	260.9	415.5	490.1	526.2	538.7	260.2	130.8
M612	GUAYCUYACU	92.6	56.3	39.6	73.6	69.3	83.3	119.7	322.1	260	299.6	278.9	180.7	76.3
M337	SAN JOSE DE MINAS	100.7	64	37	111.3	169.3	156.2	178.3	188.5	198.7	243.7	279.8	250.8	116.7
M213	LA PERLA	61.5	21	25.8	35.3	73.7	44.8	137.1	211.8	236	207.5	200.8	190.7	57.0
M721	MESA MIRAVALLE(	56.8	31	32.1	52.8	79.5	77.4	153	212.6	176.5	277.4	238	183.5	68.9

INAMHI, 2015

Gráfico 1 Precipitación Media Mensual (mm)



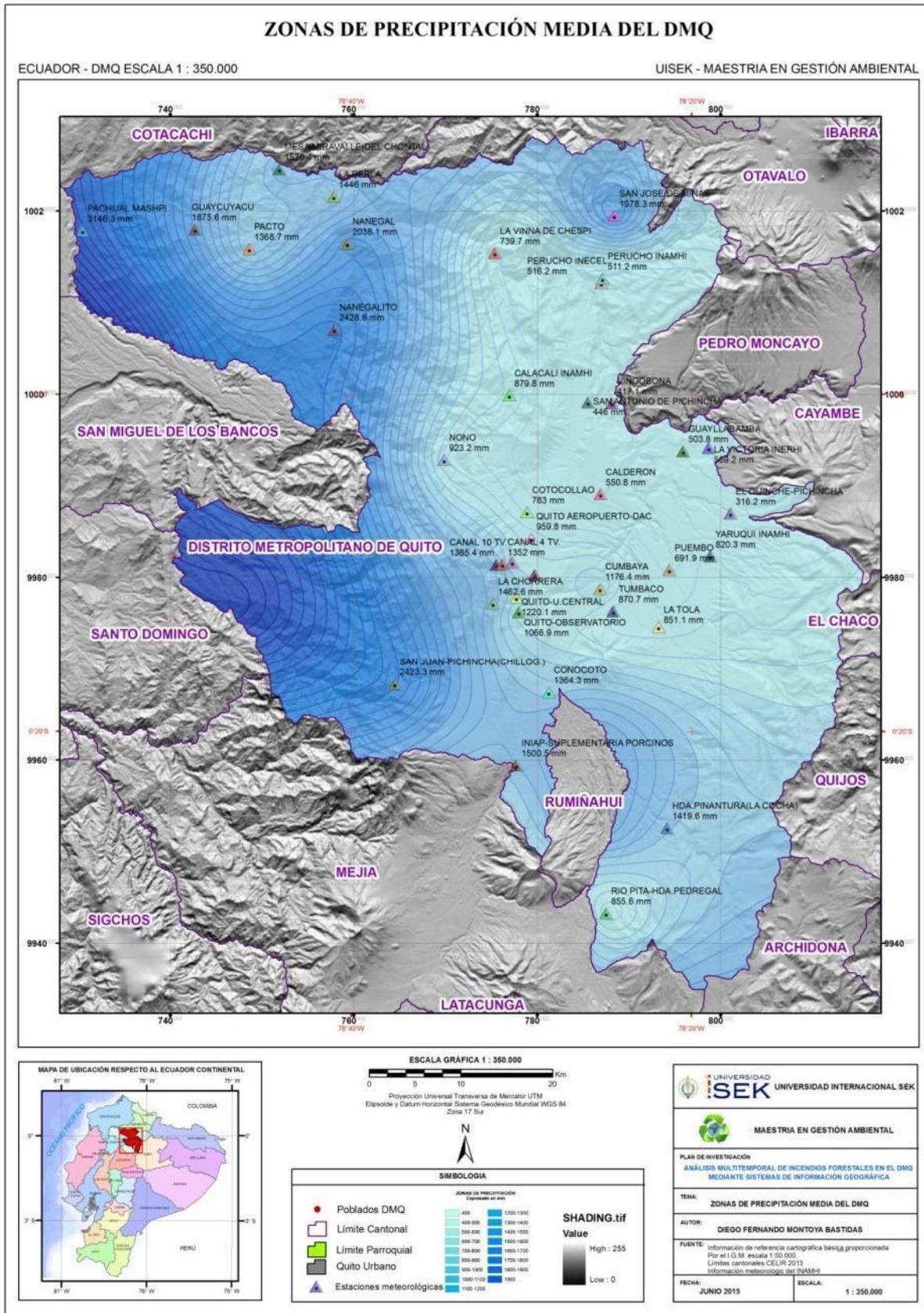
INAMHI, 2015

A sabiendas que los valores de precipitación obtenidos en las diferentes estaciones meteorológicas son puntuales, es necesario conocer su distribución geográficamente en la zona en estudio; para ello, uno de los métodos más usados en meteorología para entender esta distribución es por medio de trazos de isoyetas (líneas que unen puntos de igual valor de precipitación).

En base a los valores de los promedios anuales (serie 1985-2009) obtenidos anteriormente, tomando como referencia el relieve y la topografía de la zona estudiada, el clima, la cobertura vegetal, el reconocimiento terrestre y con el apoyo de las alturas de precipitación registradas en las estaciones meteorológicas vecinas del cantón, se trazó por medio del software ArcGis9.3 una red de isoyetas con separación de 100 mm. Los valores de las isoyetas varían desde 400 mm hasta 3700 mm y se muestran en el mapa 6 que se muestra a continuación.



Mapa 6 Mapa de precipitación media del DMQ



#### 4.1.2. Temperatura

Analizando las series de precipitaciones mensuales conjuntamente con los días de lluvia del mismo lapso de tiempo y relacionándolos con los valores de estaciones vecinas.

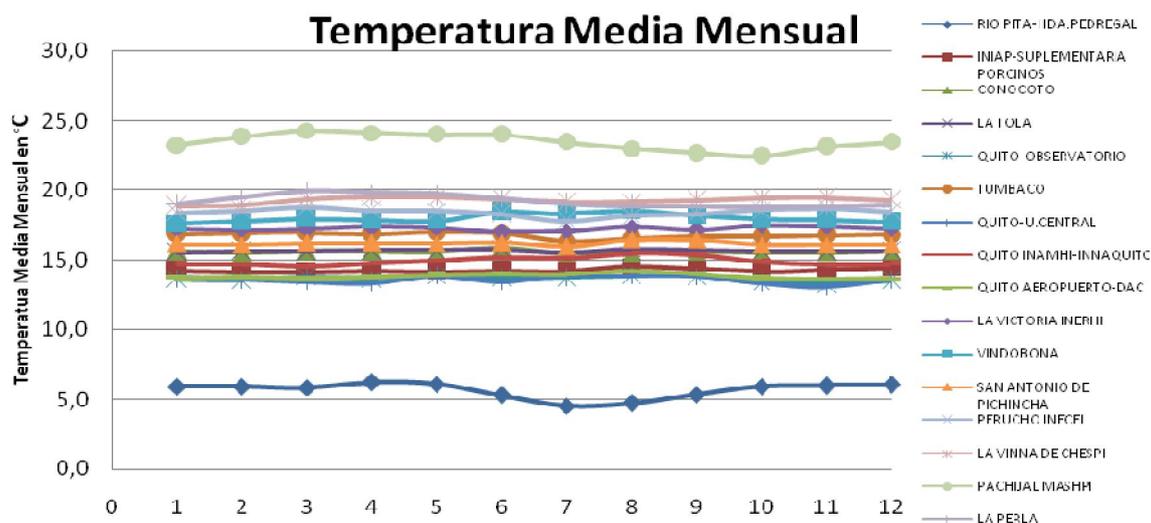
**Tabla 10** Temperatura media mensual °C de Estaciones Meteorológicas

CODIGO	NOMBRE	jun-14	jul-14	ago-14	sep-14	oct-14	nov-14	dic-14	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	PROM
M532	RIO PITA-HDA.PEDREGAL	5.3	4.6	4.8	5.4	5.9	6	6.1	5.9	5.9	5.8	6.2	6.1	5.7
M118	INIAP-SUPLEMENTARIA PORCINOS	14.2	14.2	14.5	14.4	14.2	14.3	14.4	14.3	14.2	14.2	14.2	14.2	14.3
M112	CONOCOTO	15.9	15.5	15.5	15.6	15.6	15.5	15.6	15.7	15.5	15.7	15.6	15.6	15.6
M002	LA TOLA	15.7	15.6	15.8	15.7	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.7	15.7	15.7
M054	QUITO-OBSERVATORIO	13.7	13.7	13.8	13.8	13.4	13.3	13.5	13.6	13.6	13.8	13.7	13.9	13.7
M114	TUMBACO	16.9	16.3	16.5	16.7	16.7	16.8	16.8	16.9	16.9	17	16.8	17	16.8
M606	QUITO-U.CENTRAL	13.4	13.9	13.9	13.8	13.3	13.1	13.6	13.7	13.6	13.5	13.3	13.8	13.6
M024	QUITO INAMHI-INNAQUITO	15.2	15.2	15.5	15.4	14.9	14.7	14.8	14.7	14.7	14.6	14.8	15	15.0
M055	QUITO AEROPUERTO-DAC	14	14	14.2	14	13.7	13.6	13.7	13.7	13.8	13.7	13.8	13.9	13.8
M009	LA VICTORIA INERHI	17	17.1	17.4	17.2	17.5	17.4	17.2	17.3	17.2	17.2	17.4	17.3	17.3
M210	VINDOBONA	18.5	18.3	18.6	18.2	18	17.9	17.8	17.6	17.8	18	17.9	17.8	18.0
M115	SAN ANTONIO DE PICHINCHA	16.3	16	16.5	16.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.2	16.2	16.2	16.2
M214	PERUCHO INECEL	18.3	17.8	18.2	18.3	18.6	18.7	18.5	18.4	18.6	18.8	18.5	18.5	18.4
M211	LA VINNA DE CHESPI	19.4	19.2	19.2	19.3	19.4	19.5	19.3	18.9	19	19.4	19.5	19.5	19.3
M046	PACHIJAL MASHPI	24	23.4	23	22.7	22.5	23.1	23.4	23.2	23.8	24.3	24.1	24	23.5
M213	LA PERLA	19.4	19	18.9	18.9	18.8	18.9	19	19	19.5	20	19.8	19.7	19.2

INAMHI, 2015

Se representan las temperaturas, cuyas curvas describen la distribución mensual de la temperatura media del aire en el transcurso del año. Analizando el gráfico se observa que la temperatura promedio anual en las estaciones seleccionadas es de 16°C.

Gráfico 2 Temperatura media mensual °C



INAMHI, 2015

Con la finalidad de estimar el perfil vertical de la temperatura (disminución de la temperatura con la altura), se efectuó una correlación lineal de los valores de temperatura media anual vs altitud. El gradiente térmico de la zona es aproximadamente de 1°C por cada 100 metros de elevación, el mismo que está representado por la ecuación:

$$T^{\circ C} = 25.125 - (0,00308 \times A)$$

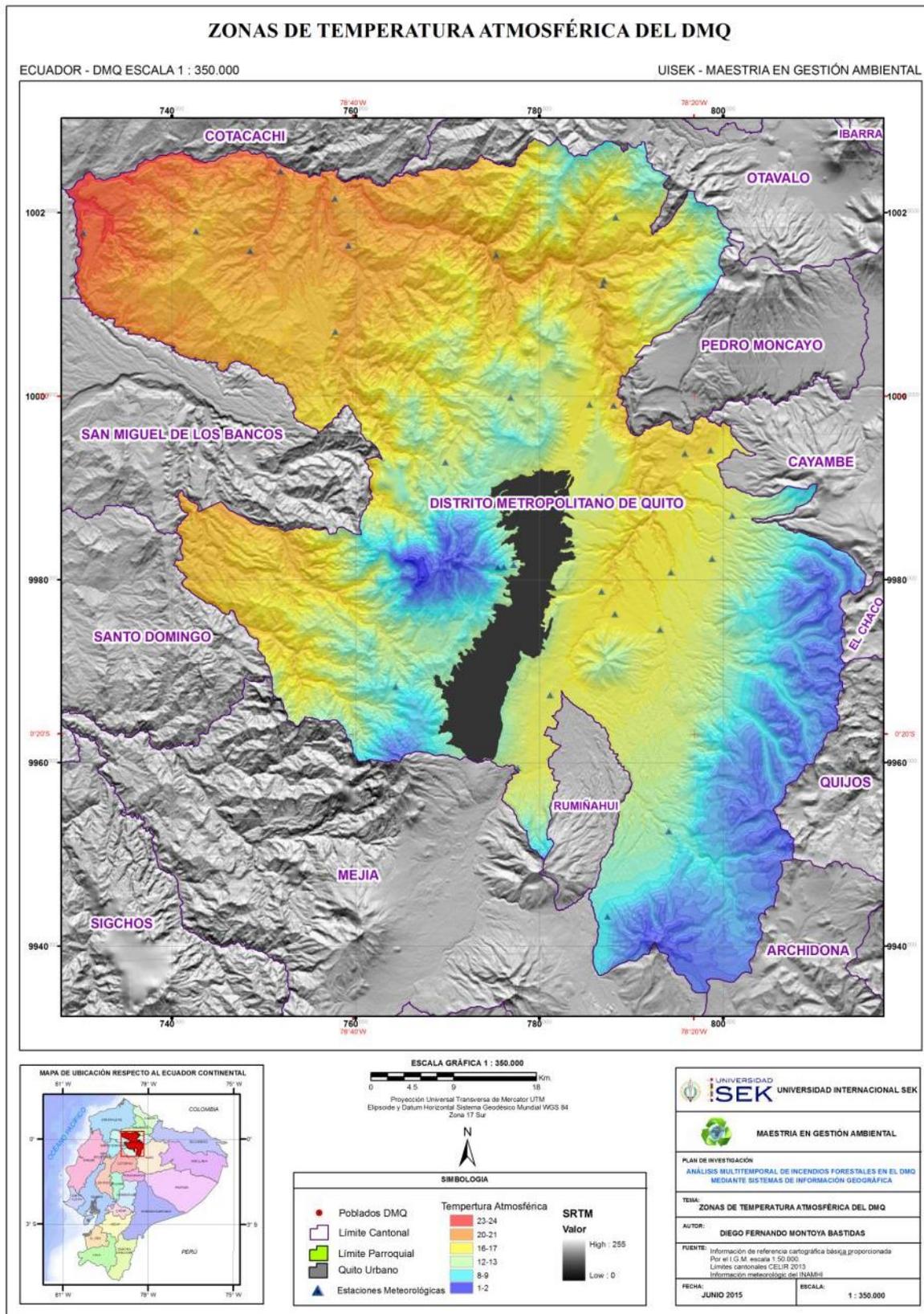
$$T = \text{Temperatura Media } (^{\circ} C)$$

$$A = \text{Altura Media (m)}$$

Conociendo que la temperatura disminuye con la altura, en base a las curvas de nivel y mediante la ecuación anterior, se realizó el trazo de las isotermas, estas isotermas tienen valores entre 2 y 23°C a lo largo de todo el cantón, mostrado en el mapa 7:



Mapa 7 Mapa de temperatura atmosférica del DMQ



Diego Montoya, 2015

### 4.1.3. Evapotranspiración potencial

Existen muchos métodos para el cálculo de la ETP. Los más difundidos son los de Blanney- Creedle, Turc, Thornthwaite, Holdridge, etc. Cada uno de estos métodos toma en consideración en sus fórmulas diversos parámetros climáticos tales como: temperatura, radiación solar, velocidad del viento, heliofanía, latitud, elevación, etc. Se considera generalmente, que los mejores resultados se alcanzan usando la fórmula de Turc, pero ésta necesita datos de insolación y son muy pocas las estaciones que miden la heliofanía en el Ecuador.

Para el cálculo de la ETP, fue escogida la fórmula de Thornthwaite, relación empírica basada en la temperatura media del aire y la latitud, cuya red de medidas en las estaciones meteorológicas es mucho más densa que la de la heliofanía, lo que permite trazar isolíneas; es fácil de computar y ha demostrado su aplicabilidad a las condiciones reinantes en el territorio ecuatoriano.

Los valores de la ETP mensual y anual de las estaciones meteorológicas consideradas para el análisis climático en la zona de estudio son:

**Tabla 11** Evapotranspiración Potencial Mensual (mm) de Estaciones Meteorológicas

COD	NOMBRE	jun-14	jul-14	ago-14	sep-14	oct-14	nov-14	dic-14	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	PROM
M532	RIO PITA- HDA.PEDREGAL	5.3	4.6	4.8	5.4	5.9	6	6.1	5.9	5.9	5.8	6.2	6.1	5.7
M118	INIAP	14.2	14.2	14.5	14.4	14.2	14.3	14.4	14.3	14.2	14.2	14.2	14.2	14.3
M112	CONOCOTO	15.9	15.5	15.5	15.6	15.6	15.5	15.6	15.7	15.5	15.7	15.6	15.6	15.6
M002	LA TOLA	15.7	15.6	15.8	15.7	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.7	15.7	15.7
M054	QUITO- OBSERVATORIO	13.7	13.7	13.8	13.8	13.4	13.3	13.5	13.6	13.6	13.8	13.7	13.9	13.7
M114	TUMBACO	16.9	16.3	16.5	16.7	16.7	16.8	16.8	16.9	16.9	17	16.8	17	16.8
M606	QUITO- U.CENTRAL	13.4	13.9	13.9	13.8	13.3	13.1	13.6	13.7	13.6	13.5	13.3	13.8	13.6
M024	QUITO INAMHI- INNAQUITO	15.2	15.2	15.5	15.4	14.9	14.7	14.8	14.7	14.7	14.6	14.8	15	15.0
M055	QUITO AEROPUERTO- DAC	14	14	14.2	14	13.7	13.6	13.7	13.7	13.8	13.7	13.8	13.9	13.8
M009	LA VICTORIA INERHI	17	17.1	17.4	17.2	17.5	17.4	17.2	17.3	17.2	17.2	17.4	17.3	17.3
M210	VINDOBONA	18.5	18.3	18.6	18.2	18	17.9	17.8	17.6	17.8	18	17.9	17.8	18.0
M115	SAN ANTONIO DE	16.3	16	16.5	16.5	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.2	16.2	16.2	16.2

	PICHINCHA													
M214	PERUCHO INECCEL	18.3	17.8	18.2	18.3	18.6	18.7	18.5	18.4	18.6	18.8	18.5	18.5	18.4
M211	LA VINNA DE CHESPI	19.4	19.2	19.2	19.3	19.4	19.5	19.3	18.9	19	19.4	19.5	19.5	19.3
M046	PACHIJAL MASHPI	24	23.4	23	22.7	22.5	23.1	23.4	23.2	23.8	24.3	24.1	24	23.5
M213	LA PERLA	19.4	19	18.9	18.9	18.8	18.9	19	19	19.5	20	19.8	19.7	19.2

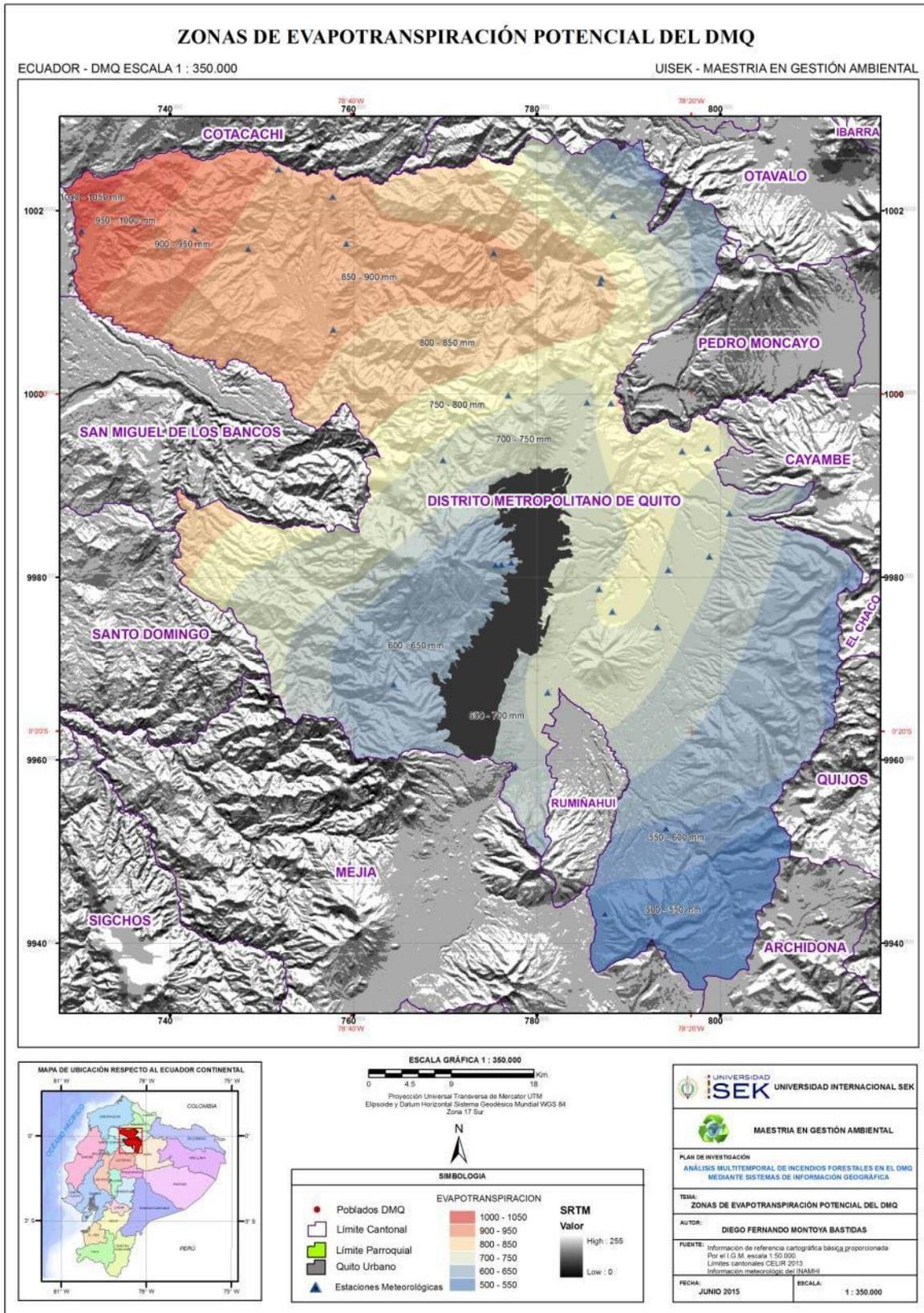
INAMHI, 2015

Los meses de marzo, mayo, agosto, julio, octubre y diciembre corresponden a valores de máxima ETP; y los meses de febrero, julio, septiembre y noviembre le corresponden los valores menores de EPT.

Dado que por este método de cálculo se tomó en cuenta la temperatura media mensual, los valores de demanda atmosférica más elevados corresponden a los meses con mayor precipitación y los más bajos valores de ETP a los meses con menor humedad, acorde con los registros térmicos estacionales en el área, mostrados a continuación.



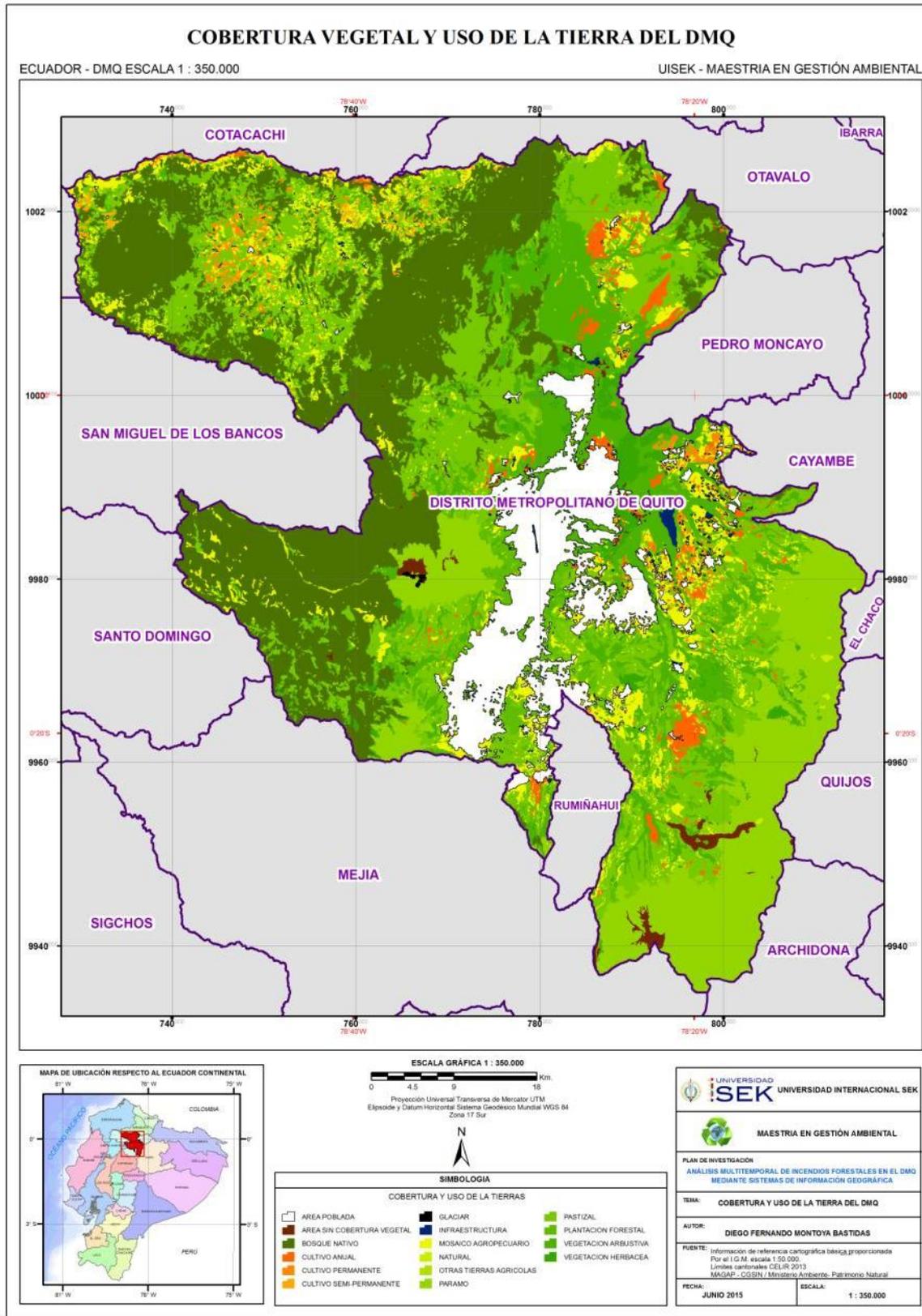
Mapa 8 Mapa de evapotranspiración del DMQ



Diego Montoya, 2015

#### 4.1.4. Cobertura Vegetal

Mapa 9 Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra del DMQ



#### 4.1.5. Niveles de Alerta

Los factores desencadenantes son aquellos que poseen la capacidad de provocar o disparar el evento, para el caso particular de este estudio se analizarán el comportamiento de la cobertura vegetal, por causa de los factores meteorológicos como precipitación, temperatura atmosférica y evapotranspiración.

Al final del trabajo se definirán zonas con un grado de amenaza particular, puede ser nula, baja, media y alta.

- **Amenaza Alta – Alerta Roja**

Zona donde existe una probabilidad mayor del 56%, con evidencia de propagación de incendios forestales.

Sus causas son de origen antrópico de origen humano intencional y no intencional  
Nivel de emergencia: Alto, los eventos son considerados como emergencias, con factores predisponentes que necesita mínimos detonantes y es causa de eventos mayores.

Cobertura vegetal: especies muy inflamables todo el año, como el pasto, hojarasca grande y compacta y bosques densos sin matorral con especies de pino, eucalipto y chaparro, gran cantidad de árboles caídos

La propagación es extrema, el fuego se inicia fácilmente colillas de cigarrillos, fósforos, fogatas o quemas.

La alerta temprana que va en el rango de -1 a -0,55

- **Amenaza Media – Alerta Amarilla**

Zona donde existe una probabilidad entre el 22 y 56% con evidencia de propagación de incendios forestales en casos puntuales.

Sus causas son de origen antrópico de origen humano intencional

Nivel de emergencia: Moderada – Alta, existe con probabilidad de emergencia con factores que predisponen los incendios forestales, con una mediana posibilidad de ser un evento mayor.

Cobertura vegetal: especies muy inflamables en verano, como pasto, matorral, hojarasca, bosques de especies como el pino y eucalipto, predominio de restos sobre el arbolado y gran acumulación de troncos y ramas.

La propagación es alta, el fuego se inicia con fósforos, fogatas o quemas.

La alerta temprana que va en el rango de -0,15 a +0,25

- **Amenaza Baja – Alerta Verde**

Zona donde existe probabilidad menor del 22% de que se presente un fenómeno de propagación de incendios forestales.

Sus causas son de origen antrópico de origen accidental y natural

Nivel de emergencia: Baja – Moderada, puede ocurrir una eventual emergencia

Cobertura vegetal: especies moderadamente inflamables, como son matorral o plantaciones jóvenes, densas y verdes, ramas muertas y pasto denso y verde, existen humedales y existen campos de cereales.

La propagación es moderada, el fuego se inicia fogatas o quemas.

La alerta temprana que va en el rango de +0,25 a +0,55

- **Amenaza Nula – Alerta Blanca**

Zona donde no existe la probabilidad de que ocurra un evento de incendio forestal

Sus causas son de origen natural

Nivel de emergencia: No existe.

Cobertura vegetal: especies poco inflamables, existe pasto verde, matorral y hojarasca joven, existen humedales y se encuentra en zonas de umbría.

La propagación es nula, no existe transmisión del fuego

La alerta temprana que va en el rango de +0,55 a +1

**Cuadro 2** Clasificación de alertas Tempranas

<p><b>Amenaza Alta</b> <b>Peligro Extremo</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Alerta Roja</li> <li>•Alta probabilidad, los eventos son emergencias, mínimo detonante, facil quema de cobertura vegetal todo el año, propagación extrema.</li> </ul>
<p><b>Amenaza Media</b> <b>Peligro Alto</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Alerta Amarilla</li> <li>•Probabilidad media, nivel de emergencia moderada, causas antrópicas intencional, quema de cobertura vegetal media, propagación alta</li> </ul>
<p><b>Amenaza Baja</b> <b>Peligro Moderado</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Alerta Verde</li> <li>•Probabilidad baja, nivel de emergencia baja, causas antrópicas accidental o natural, quema de cobertura vegetal leve, propagación moderada.</li> </ul>
<p><b>Amenaza Nula</b> <b>Peligro no existe</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Alerta Blanca</li> <li>•Probabilidad nula, no existe nivel de emergencia, causas de origen natural, quema de cobertura vegetal nulo, no existe propagación.</li> </ul>

#### 4.1.6. Probabilidad de Ocurrencia de las Alertas

La probabilidad de ocurrencia que un evento de alerta roja exista, es mucho más alta, siendo esta un 89%, mientras que la ocurrencia de la alerta amarilla es moderada con un 56% y la ocurrencia de la alerta verde es de 22% siendo poco probable, se tiene que tomar en consideración que a los eventos de incendios forestales, dependen de las variables meteorológicas de cada sector y la época del año, siendo éste un factor predominante junto a la salud de la vegetación.

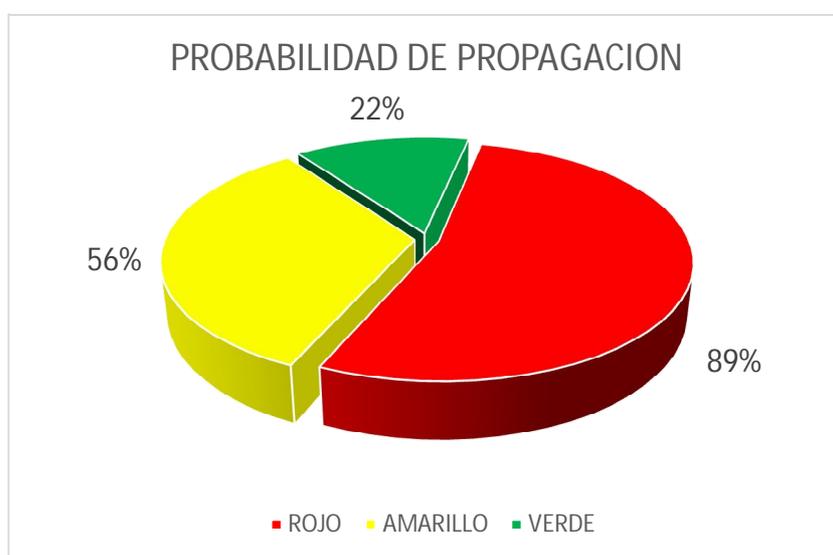
Para el cálculo de la probabilidad de las alertas se toma en cuenta la sumatoria de las propagaciones divididas para el número de salidas, además el porcentaje es calculado en función del total de las alertas es decir la sumatoria

**Tabla 12** Probabilidad de las alertas

SALIDA ALERTA	1		2		3		4		5		6		PROBABILIDAD DE PROPAGACION		
	PRUEBAS	PROPAGACION	ALERTAS	%											
ROJO	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2.67	89%
AMARILLO	3	2	3	1	3	3	3	2	3	1	3	1	1.67	56%	
VERDE	3	0	3	1	3	0	3	1	3	0	3	2	0.67	22%	

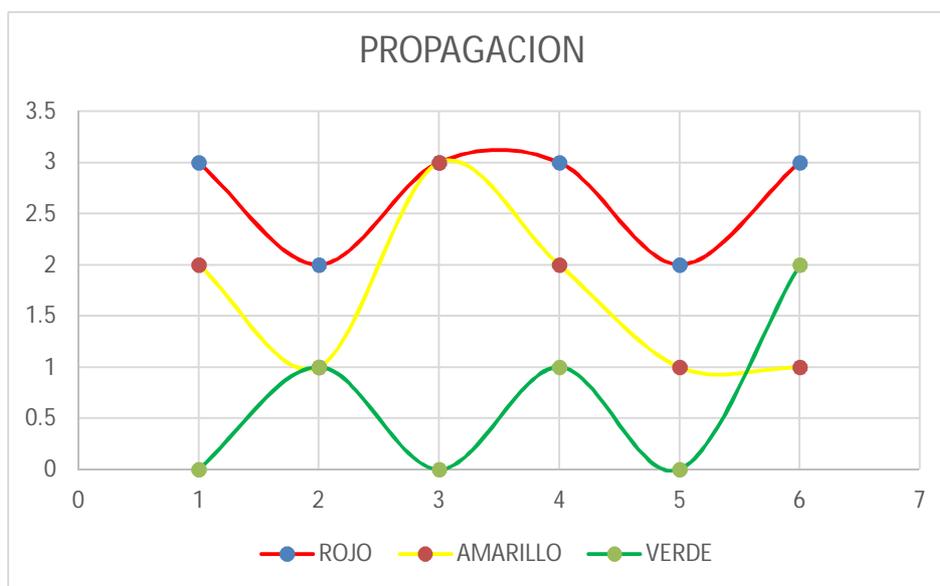
Diego Montoya, 2015

**Gráfico 3** Probabilidad de Propagación Circular



Diego Montoya, 2015

Gráfico 4 Probabilidad de Propagación Lineal



Diego Montoya, 2015

#### 4.1.7. Tratamiento de Imágenes

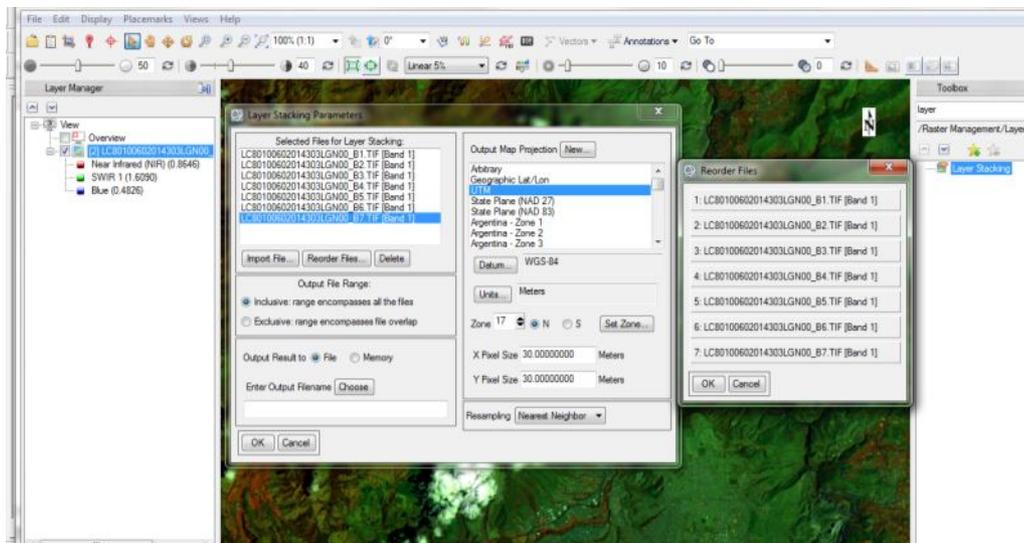
Para el tratamiento de imágenes utilizamos ENVI 5.2, el cual es un software que caracteriza por ser de fácil manejo, ideal para visualizar, analizar y presentación de imágenes satelitales y mayor velocidad de procesamiento. ENVI es compatible con ArcGis, por lo que para nuestro tratamiento de imágenes es sumamente importante, además permite el intercambio de datos e imágenes entre las 2 plataformas.

##### 4.1.7.1. Empaquetar la imagen

Al descargar las imágenes Landsat 8, se descargan 11 bandas por separado. Para su utilización es necesario empaquetar las bandas que vamos a utilizar, para nuestro caso abrimos de la banda 1 a la banda 7 para establecer la composición de bandas según el requerimiento del estudio.

- Software ENVI
- Seleccionamos el fichero “File/ Open As/Landsat” llamando al metadato que contiene la imagen satelital descargada
- En el fichero “File/ Open” seleccionamos la carpeta y bandas descargadas, para nuestro caso de la banda 1 a la 7.
- Con la herramienta “Layer Stacking” importamos la imágenes a empaquetar

- En la opción “Reorder Files” colocamos las bandas en orden de menos a mayor (banda 1, banda 2, banda 3, .....banda 7)
- En “Choose” escogemos la carpeta de guardado



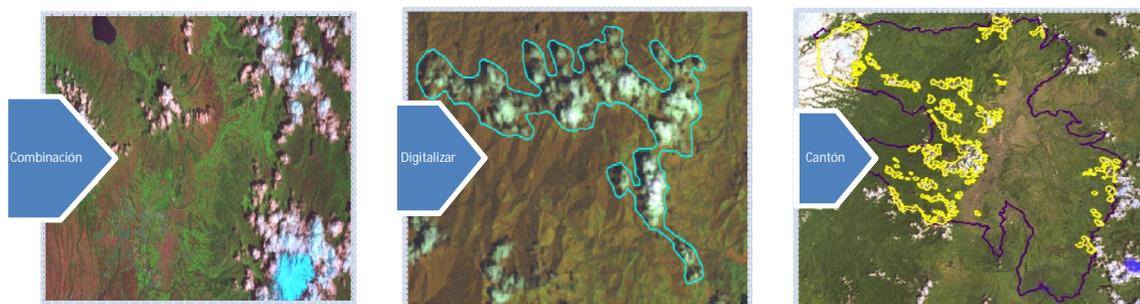
#### 4.1.7.2. Determinación de Nubes y Sombras

Las nubes dentro de una imagen satelital es uno de los factores más causan contratiempos, por ser el causante de la pérdida de información de lugares de interés, causan confusión con otros elementos como cuerpos de agua, vegetación, infraestructura, entre otros.

Para la discriminación correcta de nubes y sombras hemos realizado el siguiente procedimiento:

- Combinación de bandas 7-5-3 la que presenta el color natural con remoción atmosférica, esta combinación nos ayuda a discriminar claramente los elementos como agua, nubes, hielo.
- Digitalizamos las nubes y sus sombras, entre mayor detalle de escala y finura en la digitalización, el producto final es más exacto y sin mucha pérdida de información.
- Eliminamos del Raster las nubes y sombras para descartar la información no útil y continuar con los siguientes procedimientos

**Figura 14** Determinación de nubes y sombras



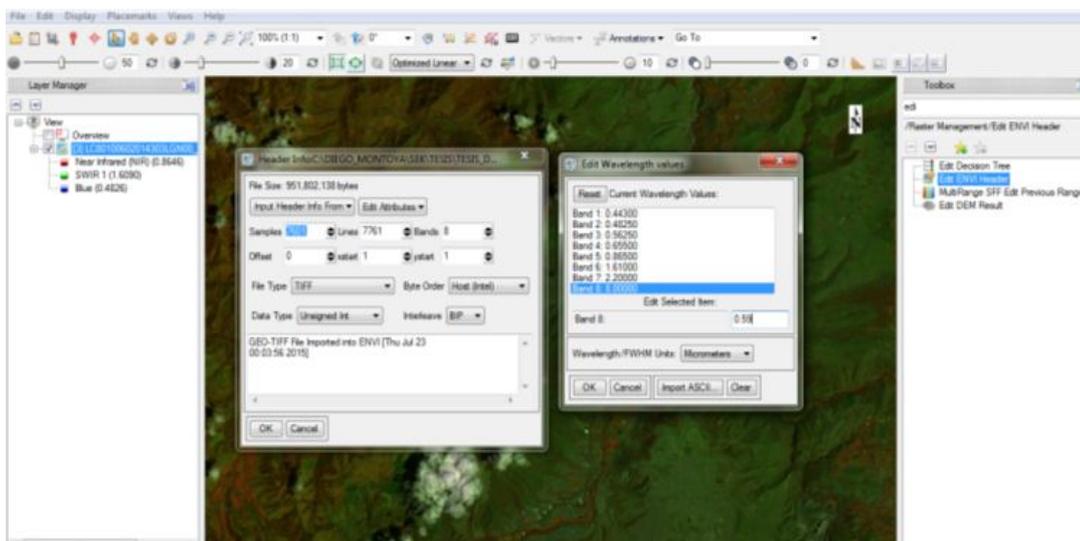
Diego Montoya, 2015

### 4.1.7.3. Corrección de la Resolución espectral

Es definida por el ancho de banda o respuesta espectral que capta el sensor, en nuestro caso Landsat tiene una resolución espectral de 7 (número de bandas), su unidad es el micrómetro.

- Software ENVI
- Seleccionamos la imagen empaquetada
- Seleccionamos la herramienta “Edit ENVI Header” el cual edita el encabezamiento de la imagen satelital
- Seleccionamos la pestaña “Edit Attributes/wavelengths” donde definimos el promedio de ancho de banda de la 1 a la banda 7 (calculamos para cada banda con el ancho de longitud de onda) y guardamos

N° Banda	Promedio
Banda1	0.443
Banda 2	0.4825
Banda 3	0.5625
Banda 4	0.655
Banda 5	0.865
Banda 6	1.61
Banda 7	2.2



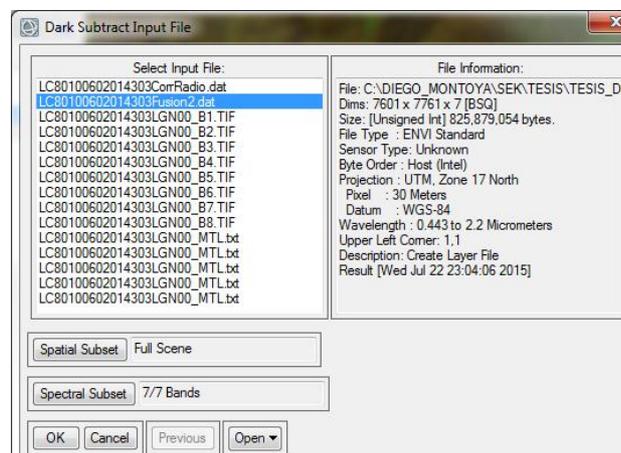
### 4.1.7.4. Corrección radiométrica

Es el número de niveles de gris en que se divide la radiación recibida para ser almacenada y procesada posteriormente. El sensor convierte la radiación recibida en una señal eléctrica digital (0-1) para ser transmitida

$8 \text{ bit} = 2^8 = 256 \Rightarrow 0 \text{ a } 255 \text{ tonos de gris}$

Esto significa que tenemos una mejor resolución dinámica y podemos distinguir mejor las pequeñas diferencias de radiación

- Software ENVI
- Seleccionamos la herramienta “Dark Subtraction” el cual selecciona automáticamente todos los objetos oscuros y los corrige
- Seleccionamos la imagen donde se definió el promedio de ancho de banda
- Elegimos el método “Band Minimum” y en “Choose” escogemos la carpeta y definimos un nombre al archivo a procesar



#### 4.1.7.5. Generación del Índice de Vegetación Normalizada

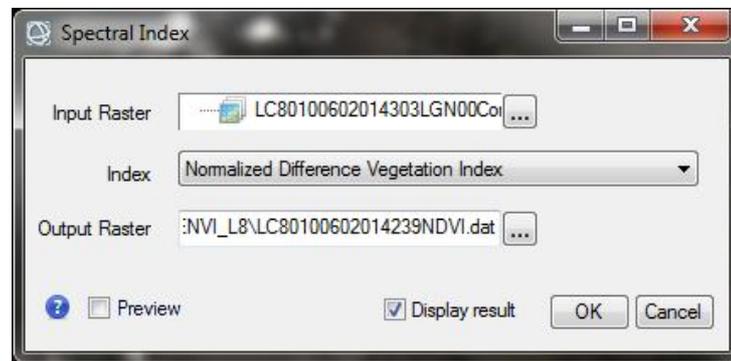
Es también conocido como NDVI, es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente desde una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja (James Verdin, Diego Pedreros, Red de alerta temprana contra la inseguridad, Centroamérica, USGS/EROS Data Center, 2003)

El NDVI se deriva ya que las plantas absorben la radiación que es emitida por el sol, pero dispersando la radiación en el espectro del infrarrojo, dando como resultado que la vegetación aparezca oscura en la zona fotosintética activa y más brillante en el rojo.

- Software ENVI
- Seleccionamos la herramienta “Spectral Index” en donde se elige la imagen realizada la corrección atmosférica
- En el “Index” se escoge el proceso de “Normalized Difference Vegetation Index” para realizar el NDVI



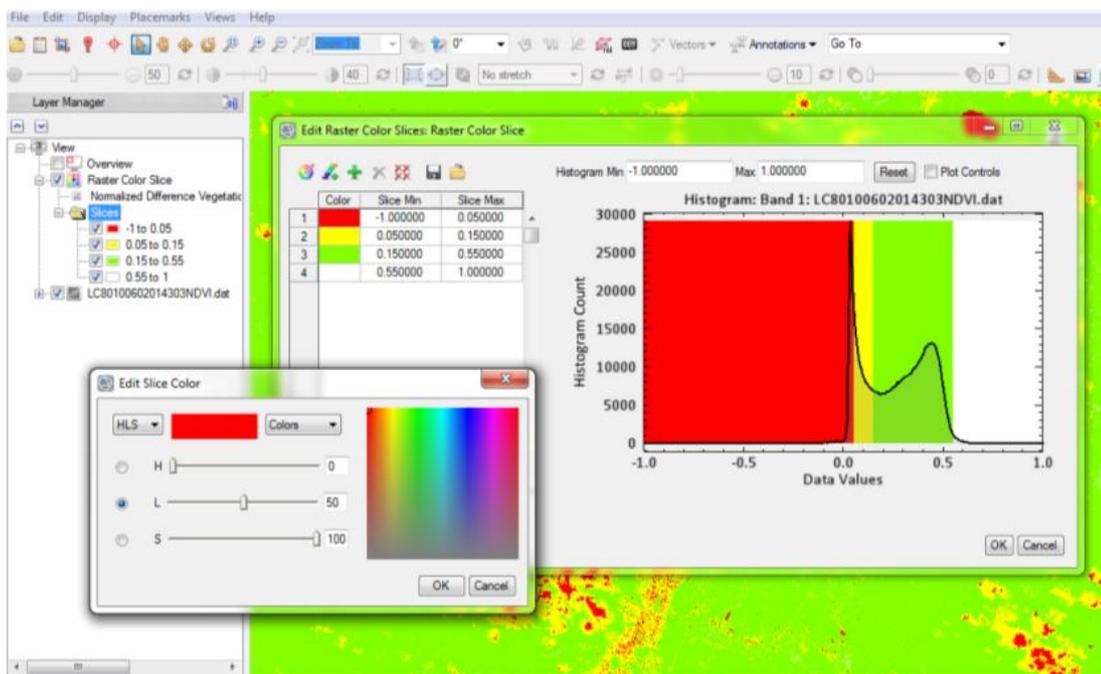
- En “Output Raster” escogemos la carpeta y definimos un nombre al archivo a procesar y guardamos



#### 4.1.7.6. Edite Raster Color Slice Raster

En el software ENVI la herramienta “Raster Color Slice” permite definir números y rangos de color definidos por el usuario, en base al histograma, del producto NDVI de las imágenes Landsat procesadas.

- Software ENVI
- Dando clic derechos sobre el NDVI , producto obtenido en el paso anterior, seleccionamos “Raster Color Slice”
- En la opción “New Default Raste Color” definimos el número y colores de la tabla a desarrollar. Para nuestro desarrollo del proyecto definimos 4 colores donde se ven plasmadas la alertas (roja, amarilla, verde y blanca)
- Dando clic derechos, escogeos la opción “Export Color Slice” donde vamos a exportar nuestro producto final como “Shapefile” formato que es manejable compatible dentro de las herramientas GIS

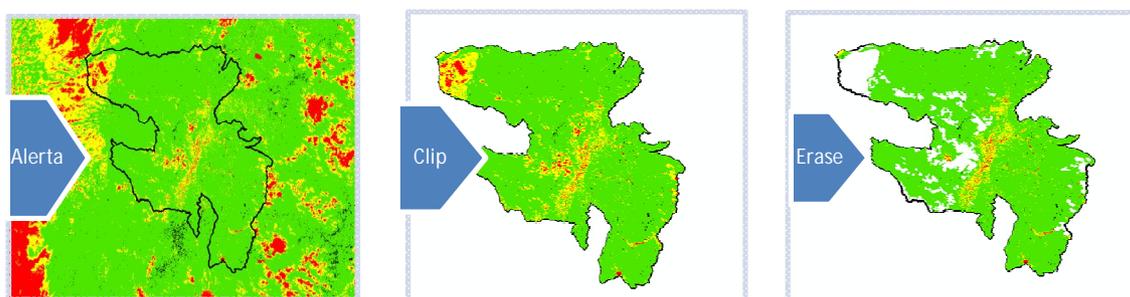


#### 4.1.7.7. Producto Final

Del tratamiento de imágenes satelitales Landsat, se tiene como resultado final la alerta temprana de incendios forestales, quedando por realizar un último proceso, que es la determinación del área de estudio, en nuestro caso el límite cantonal del Distrito Metropolitano de Quito y la substracción del SHP de nubes y sombras digitalizado. Este proceso lo realizamos en el software ArcGis con las siguientes herramientas:

- Software ArcGIS
- Agregamos los insumos a trabajar, como son el SHP de la alerta temprana y el SHP límite del DMQ (polígono).
- En la caja de herramientas “Arc Toolbox” fichero “Extract” elegimos la herramienta “Clip”, la que tiene la función de extraer una parte del área de trabajo, utilizando un sector determinado.
- En la caja de herramientas “Arc Toolbox” fichero “Overlay” elegimos la herramienta “Erase”, la que elimina un área determinada.

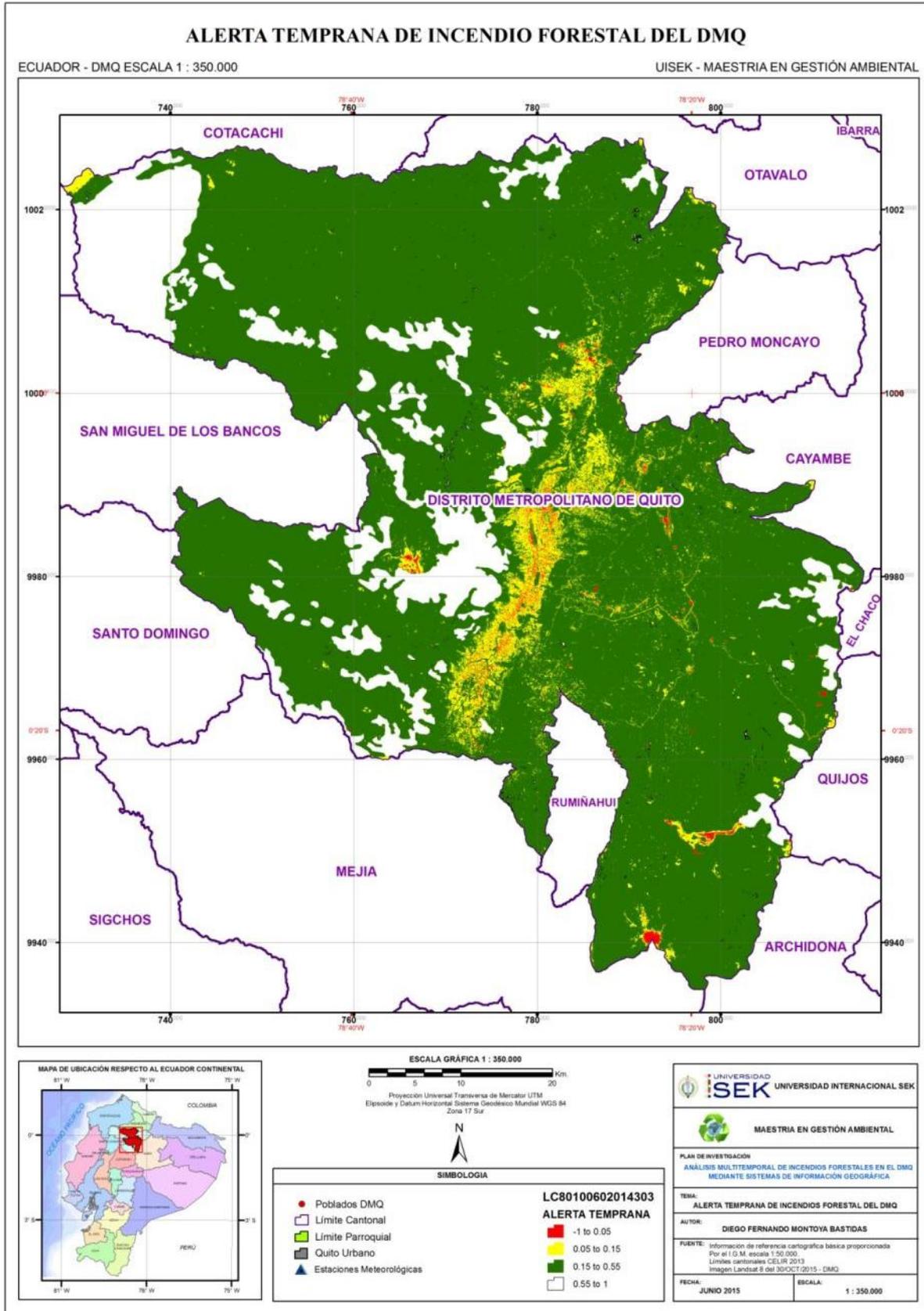
**Figura 15** Producto Final



Diego Montoya, 2015



Mapa 10 Mapa de alerta temprana de incendios forestales del DMQ



Diego Montoya, 2015

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Se obtuvo como resultado del análisis multitemporal una cobertura de alertas tempranas para el Distrito Metropolitano de Quito, mediante la utilización de herramientas SIG y análisis digital de imágenes Landsat, ésta es una herramienta que servirá a las instituciones generadoras de información como el COE e instituciones encargadas del control como el CBQ y la Ilustre Municipalidad de Quito, a tomar medidas de prevención, donde el monitoreo de sectores vulnerables en la zonas rurales de Quito, sea una prioridad en verano, donde la vegetación comienza a cambiar su estado, de saludable a seco, sumado a las condiciones meteorológicas propias de la época como son la temperatura, velocidad del viento, humedad y números de días sin lluvia, aumentan considerablemente los niveles de peligro para originar un incendios forestal.
- La experimentación en campo, se dio gracias al trabajo en conjunto del grupo investigación de incendios del CBQ y al personal técnico del COE, quienes abrieron las puertas a la experimentación de las alertas tempranas, para el análisis de propagación de incendios, donde con ensayos de fósforos, fosforera y ayuda de hojas secas, donde se confirmó la eficiencia de la alertas con la siguiente clasificación:
  - ✓ Amenaza Alta - Alerta Roja: existe una probabilidad del 89% de de incendios forestales por tener una propagación extrema, donde el fuego se inicia fácilmente por colillas de cigarrillos fósforos, fogatas o quemas, las causas son de origen antrópico de origen humano intencionado y no intencionado, es una alerta alta, considerándose emergencia con mínimos detonantes para convertirse en eventos mayores, la cobertura vegetal es poco saludable e inflamable como es el caso de pasto, hojarasca, pino, eucalipto, chaparro y gran cantidad de árboles caídos
  - ✓ Amenaza Media - Alerta Amarilla: existe una probabilidad de 56% de incendios forestales, se tiene una propagación moderada en casos puntuales, el fuego se inicia por causa de fósforos, fogatas o quemas, las causas son de origen humano intencionado. El nivel de emergencia es moderada - alta, existe la probabilidad media de emergencia, que aumenta el riesgo al combinarse con factores como viento, temperatura y humedad. mayor, que predisponen a ser un evento mayor. La cobertura vegetal es medianamente saludable y húmeda, existe especies en verano que se convierten en inflamables como: pasto, matorral, hojarasca, bosques de pino y eucalipto, zonas donde existe predominio de acumulación de troncos y ramas.

- ✓ Amenaza Baja - Alerta Verde: existe una probabilidad del 22% para que se presente un incendio forestal, las causas son de origen antrópico de origen accidental o natural. El nivel de emergencia es bajo – moderado, que puede ocurrir una eventual emergencia. Dentro de la cobertura vegetal se tiene especies moderadamente inflamables como el matorral, existen zonas con plantaciones jóvenes, densas y verdes, con presencia de humedales. La propagación es moderada, donde el fuego se puede iniciar por fogatas o quemas.
  - ✓ Amenaza baja - Alerta Blanca: no existe probabilidad de ocurrencia de un evento de incendio forestal, sus causas son de origen natural, no existe nivel de emergencia, la cobertura vegetal está dada por especies poco inflamables como el pasto verde, matorral y hojarasca joven, hay la presencia de humedales y se encuentran en zonas de umbría. La propagación es nula, no existe transmisión del fuego.
- Se considera que la técnica de observación y experimentación con pruebas de campo y gabinete dentro de la metodología utilizada en el presente estudio, fue óptima, ya que los datos resultantes de las alertas tempranas son apegados a la realidad, donde se comprobó que la salud de la vegetación es un factor fundamental para el inicio de los incendios forestales.
  - Se determinó en las alertas tempranas que junto a vías, de materiales como pavimento y concreto, se forman alertas rojas o amenazas altas que siguen el trazado de los caminos, con lo determinado se logra llegar a la conclusión que por la reflectancia emitida por la energía solar, sumada a la contaminación emitida por los automotores, la vegetación colindante a las vías, cambia la salud de vigorosa a seca o muerta, convirtiéndose éstas en zonas susceptibles, de alta probabilidad de inicio de incendios forestales.
  - Un limitante dentro de nuestro estudio, fue la obtención de imágenes satelitales óptimas, ya que la mayoría de las imágenes de buena calidad, se encuentran en plataformas pagadas, que varían el precio de información por el de fechas pasadas - archivo a un costo alto y la información bajo pedido previo aumentan su costo a uno mayor por kilómetro cuadrado; las versiones liberadas al público son de menor calidad y limitadas a la disponibilidad de una zona en particularidad, otra limitante son las condiciones meteorológicas, específicamente la cantidad de nubes que se ve afectado nuestro país por encontrarse en zonas de cordillera.
  - Los riesgos en incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito son eventos relevantes que no pueden pasar por alto, en vista de su incremento en los últimos años, donde la logística que implica combatir incendios forestales, es bastante precaria ante el creciente porcentaje de incidencias. La falta de conciencia e información acerca del tema, ha elevado hasta el 90% las causales, provocadas por la mano humana.
  - Las herramientas SIG y tratamiento de imágenes satelitales, aportan con información valiosa, que se puede tener en tiempo real, efectivizando la toma de decisiones ante incendios forestales. Además, se puede crear planes de prevención focalizados y se los puede personalizar de acuerdo a las características propias de una zona.

- Los planes de prevención, concienciación de la población, estudios técnicos, campañas de información y ahora los SIG, consolidan de manera eficiente el control de incendios forestales en el DMQ.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Las alertas tempranas obtenidas mediante las herramientas SIG y análisis digital de imágenes, deben ser consideradas como una base fundamental en los estudios de prevención y control de incendios forestales, ya que con la utilización oportuna de alertas se puede evitar pérdida de flora, fauna, daños a la propiedad e inclusive a salvar vidas humanas.
- Las instituciones encargadas del control forestal e incendios, deben realizar desbroce y limpieza de la vegetación seca y muerta que se encuentran muy cercanas a las vías, además se recomienda cultivar especies como cactus, pencos, frejol, aguacate, cítricos, ornamentales, entre otras, las cuales son resistentes a la deshidratación, logrando así mantengan porcentajes de humedad óptimos que disminuyan el riesgo en incendios forestales.
- Se debe enfocar el trabajo en concienciar a la población, para crear una cultura de protección y cuidado a nuestros bosques y cobertura vegetal, reforzándose en los meses de julio a septiembre, donde comienza la época de verano, en que los incendios forestales incrementan considerablemente en el DMQ por las condiciones climáticas e inicio de vacaciones escolares en la sierra, adecuando lugares específicos para el turismo, ya que el camping con fogatas mal apagadas y arrojar desecho de basura inflamable, fósforos y colillas de cigarrillos aumentando el riesgo de incidencia; los esfuerzos se deben destinar a las campañas de socialización para el adecuado manejo de desperdicios y formar equipos comunitarios para estar atentos al cuidado de bosques, limpieza de vegetación muerta y seca, evitar fogatas, quemas agrícolas y estar vigilantes a la presencia de pirómanos y personas inescrupulosas que originan incendios.
- El Centro de Operaciones de Emergencia y el Cuerpo de Bomberos de Quito, a más del observación continua por medio de los parámetros meteorológicos y respuesta a los conatos de incendios forestales, deben utilizar acciones preventivas como el monitoreo satelital donde se indican alertas rojas, determinando así zonas de alto riesgo de forma oportuna, antes de que se inicie un evento, para ellos se debe tomar acciones como las quemas controladas, desbroce de vegetación, reforestación y actualización del semáforo de alertas, incluyendo el parámetro de salud de cobertura vegetal, por el cual la población va estar atenta a las condiciones de riesgo de forma permanente.
- La casaca roja cuenta con torres de monitoreo, donde se recomienda que en las épocas climáticas de alto riesgo se vean reforzadas con brigadas de observación y recorrido, además sumar operativos de control de incendios forestales en las zonas con índices de incidencias más altos.

- Se recomienda al Ilustre Municipio de Quito y autoridades competentes, relacionadas con la creación de leyes y ordenanzas, endurezcan las sanciones a personas inescrupulosas que prenden fuego, siendo las causantes de muerte de flora y fauna; a más de la sanción económicas, se debe imponer reforestación y horas de servicio comunitario.

## CAPITULO VI

### 6. REFERENCIA Y BIBLIOGRAFIA

- Chuvieco, D. Cocero, D. Riaño, P. Martín, J. Martínez, J de la Riva y F. Pérez, 2004b, Combining NDVI and Surface Temperature , Remote Sensing of Environment, Vol 9: 322-331
- E.Chuvieco, Fundamentos de Teledetección Espacial, Universidad de Alcalá, 2da edición, Madrid, 1995
- D. Molina, E. Pous, Universidad de Lleida, Curso Básico de Incendios Forestales, Noviembre 2008.
- Estacio, Jairo, & Narváez, Nixon (2012), *Incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ): Conocimiento e intervención pública del riesgo*, Quito: Letras Verdes. (FLACSO)
- Estacio, Jairo (2005) *Plan estratégico para la reducción del riesgo en el territorio ecuatoriano*, Quito: SENPLADES.
- ENVI, ConsultGeo, 2015.
- F. Grillo, D. Molina, Análisis de Incendios Forestales, Producción Vegetal y ciencia Forestal, (2006-07)
- Instituto espacial Ecuatoriano – IEE, Geomática, Departamento de Infraestructura y Servicios, Memoria Técnica de Cartografía Base del DMQ, (2013-14)
- INAMHI. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología Quito: INAMHI. 1963-2010 *Anuarios y Documentos*
- Langlé Rubén, LABSIG, Laboratorio Unidad Pacífico Sur, México, 2015
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, EC., & Programa de Regulación y Administración de Tierras Rurales, EC., (2008) *Metodología de valoración de tierras rurales: propuesta*. Quito, Autor.
- Navarrete, Raúl, & Oberhuber, Theo, & Reina, Joaquín (2007) *Incendios Forestales: Manual Práctico*, Madrid: Acción Ecológica.
- Narro, E. (1994) *Física de Suelos: con enfoque agrícola*, México D.F., MX. Editorial

- Observatorio de riesgos naturales de la Región Languedoc-Roussillon, (2002). *Plan de Prevención de Riesgos contra incendios* (5ta. ed.) Languedoc-Rosellón: Autor.
- Padrón, Diego (2007) *Proyecto FIREMAP*, Alcalá: Universidad de Alcalá.
- United States Geological Survey – USGS, Base de Datos del servicio geológico (2010)
- VAERSA (2012), *Manual de buenas prácticas en prevención de incendios forestales*, Valencia: Conselleria de Governació.
- Vilar del Hoyo, Lara (2009) *Elaboración de modelos espaciales predictivos de ocurrencia de incendios forestales asociada a la actividad humana*, Alcalá de Henánes: Universidad de Alcalá.

## **ANEXOS**

1. Plan de Prevención de Incendios Forestales
2. Mapas temáticos en formato A2 de:
  - 2.1. Mosaico de Ortofotografía
  - 2.2. Imagen Satelital Landsat
  - 2.3. Cartas Topográficas
  - 2.4. Mapa Político
  - 2.5. Mapa de Salida de Campo
  - 2.6. Mapa de Precipitación
  - 2.7. Mapa de Temperatura
  - 2.8. Mapa Evapotranspiración
  - 2.9. Mapa de Cobertura Vegeta
  - 2.10. Mapa de Alertas Tempranas
3. Registro fotográfico
4. Videos del trabajo de campo

## **ANEXO 1**

### **PLAN DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES**

Para encaminar una responsable prevención en incendios forestales, se debe identificar de manera verás las causales que los provocan. Clasificándolas así de la siguiente forma:

#### **1. NOCIONES GENERALES**

##### **1.1. INCENDIOS DE ORIGEN NATURAL**

En el contexto de una naturaleza hostil, que propicia dentro de las condiciones meteorológicas del entorno del Distrito Metropolitano de Quito, podemos enunciar causales de origen natural, que aunque se encuentran dentro de las incidencias esporádicas, representan escenarios posibles y potenciales para el origen y generación de incendios forestales.

Entre estos causales podemos enunciar las tormentas eléctricas, las cuales bajo ciertas condiciones y la fricción de ambientes con altos grados de estática, escenarios generados habitualmente en ambientes de presiones bajas antes de las lluvias, provocan incendios forestales cuando los rayos se precipitan sobre la capa vegetal de las zonas de riesgo.

Otro causal de riesgo altamente potencial, y que se puede categorizar dentro de los eventos que no se pueden contener, como son las erupciones volcánicas. El DMQ, al encontrarse rodeado de una cadena de volcanes activos es indudablemente vulnerable a este tipo de catástrofes, que como efecto secundario, pero no menos peligroso provocaría incendios forestales de proporciones incontrolables, e incluso aumentando su gravedad al diezmar los recursos de contención tanto infraestructurales como humanos propios de este tipo de desastres.

## **1.2. INCENDIOS DE ORIGEN ANTRÓPICO**

Son aquellos generados de manera directa e indirecta por el hombre, enunciados y explicados a continuación.

### **1.2.1. ORIGEN HUMANO NO INTENCIONAL**

En el caso de quemas de la biomasa con fines agrícolas, las Instituciones gubernamentales deberían prohibirlas, o por lo menos regularlas y ayudándolas en las prácticas alternativas a la quema de montes, como el volteo de los mismos en el terreno, en la quema de restos de poda,

debería fomentarse el astillado, facilitando líneas de crédito para la compra de la maquinaria correspondiente. Sin embargo la solución definitiva debe ser prohibirlas durante todo el año.

Asimismo, la administración competente debería fomentar prácticas alternativas para la regeneración de pastos, como los desbroces mecánicos, y otras medidas que promocionen prácticas ganaderas respetuosas con el medio, condicionando a la adopción de las mismas la concesión de ayudas y subvenciones. En el caso de los pirómanos, entendidos como personas con alguna alteración psicológica, deben ser tratados por especialistas hasta su completa curación.

Para evitar los incendios producidos para facilitar la caza, las administraciones ambientales, con el fin de favorecer la recuperación de la fauna afectada por el incendio, deberían prohibir la caza en la zona quemada durante periodos de hasta diez años. En el caso de los incendios provocados para obtener madera a bajo precio, las administraciones ambientales deberían proceder a la expropiación inmediata de la madera quemada a precio de coste, cediéndosela a su vez a una empresa pública para su transformación.

Las Instituciones involucradas en la prevención del impacto de los incendios forestales, deben regular de acuerdo a la normativa legal el comportamiento de los asentamientos poblacionales próximos a dichos focos de peligro identificados como potencialmente vulnerables gracias a los registros de los sistemas de información geográficos generados.

### **1.2.2. DE ORIGEN HUMANO INTENCIONAL**

Existen individuos o grupos de individuos, que carecen del normal funcionamiento de sus capacidades psicológicas, y han desarrollado el gusto por la piromanía, que no es más que la satisfacción producida al ver algo o alguien incinerarse; por lo que estas personas representan un peligro potencial ya registrado en 2010 en el DMQ.

Las quemas agrícolas sin autorización entran dentro de este contexto al infringir la ordenanza y normativa en dichos sectores.

Por tal motivo debemos emitir ciertas restricciones al respecto tales como:

- Prohibir o por lo menos regular todo tipo de quemas agrícolas en las zonas con altos índices de incendios forestales durante las épocas climáticas que los hacen más vulnerables.
- Acondicionar lugares turísticos dentro de las zonas periurbanas para que no se restrinja la accesibilidad.
- Prohibir el origen de fuego fuera de las zonas destinadas para fines turísticos y mucho más en épocas de riesgo inminente de incendios forestales.
- Prohibir definitivamente la quema de basura y residuos de maleza dentro y fuera de las zonas periurbanas asignadas.
- Reforzar el control y el cumplimiento de las sanciones asignadas para los infractores de emisión de desechos como colillas, fósforos y objetos incandescentes desde vehículos en movimiento.
- Mantenimiento debido de los márgenes de las carreteras, es decir el podado y desbrozados mediante medios mecánicos, así como la recolección y correcta eliminación de residuos de biomasa.
- Crear brigadas de control y de observación permanente, o por lo menos dentro de las épocas más vulnerables.

### **1.3. CAUSAS DESCONOCIDAS**

En ciertos casos, luego de realizar pruebas de identificación de causales en incendios forestales, nos encontramos con indeterminaciones que no aportan de forma positiva en la clarificación de la fuente del origen del siniestro.

Existen factores que incrementan la incidencia de no encontrar la causa del incendio forestal, tales como la magnitud del siniestro, el tiempo transcurrido entre el final del incendio y la toma de muestras para el análisis e inspección, factores climáticos determinantes que transforman el escenario del siniestro, y por supuesto el nivel de preparación del personal responsable.

#### **1.4. ORIGEN ACCIDENTAL**

Existen causales que tienen incidencias esporádicas, sin embargo no se pueden descartar. Entre estas tenemos los tendidos eléctricos, los cuales se debe implementar mediante la normativa correspondiente y no estar edificado sobre estructuras de madera la cual es sensible a originar incendios forestales en épocas de sequía con una heliofanías adversas. Deben estar a distancias prudentes de concentraciones arbóreas o arbustivas, además de realizarse mantenimientos periódicos.

Las explosiones de origen doméstico se producen generalmente gracias al gas propano, cuando la negligencia humana juega un rol importantísimo en viviendas de los lugares periurbanos del DMQ, como consecuencia de fugas de gas, mal manejo de los cilindros o simplemente mal estado de la manguera o la válvula que la conecta con el cilindro.

Finalmente y con incidencias casi nulas, tenemos los incendios provocados por maniobras militares, por lo que deben quedar prohibidos dichos eventos en inmediaciones con flora de tipo arbustivos densos, o en su defecto que se acondicionen sitios controlados en los que se puedan regular dichos ejercicios bélicos.

#### **1.5. DAÑOS COLATERALES**

Debemos también comprender los daños colaterales para concientizar acerca de los incendios forestales, pues estos producen bastos problemas ambientales, muchos de estos irreversibles; a esto se puede sumar la reducción de las cadenas paisajísticas por la quema de la cubierta vegetal de la zona.

Otro efecto pos siniestro, y considerado bastante relevante es la muerte de la fauna endémica de las zonas perjudicadas, la cual simplemente no puede escapar y sufre de una muerte por carbonización; a esto también le podemos adherir, el restante de animales que mueren de inanición o frío, al no contar con alimento y guarida para sobrevivir luego del incendio.

En una escala no menos importante se encuentra la degradación de la estructura edafológica, provocando el aumento de los riesgos de erosión e infertilidad del suelo, que en un futuro se traducirá en movimientos de tierra gracias al viento y las lluvias.

El ciclo hídrico se altera drásticamente, reduciendo la infiltración y diezmando las reservas acuíferas subterráneas. Además la escorrentía aumenta notablemente provocando el incremento en los caudales de arroyos y canales que alteran bruscamente la ecología de la biomasa aledaña o limítrofe.

No podemos olvidar que los gases emitidos aportan de manera negativa con los gases de efecto invernadero en la atmósfera, por lo tanto contribuyen directamente con el cambio climático mundial.

Es preocupante que en incidencias menores, pero importantes, estos episodios cobran vidas humanas entre pobladores, visitantes y personal encargadas de mitigación, acontecimientos que se podrían evitar con la prevención responsable. Los daños materiales sobrepasan los niveles que la comunidad puede aguantar al reiterarse los siniestros, sin mencionar las pérdidas económicas en cultivos y viviendas.

## **2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Consiste en estructurar y pregonar campañas informativas, educacionales y sensibilizadoras, que comprometan a los pobladores, visitantes, transeúntes y trabajadores de las zonas periurbanas del Distrito Metropolitano de Quito; es decir zonas que no son urbanas ni agrícolas, cubiertas de vegetación natural o sembradas con objetivos ecológicos, protectores o de recreación; a adquirir una consciencia social preventiva con respecto de los incendios forestales en las zonas identificadas como potenciales, uno de éstos instrumentos es el semáforo de propagación de incendios forestales que posee el Cuerpo de Bomberos de Quito

en zonas recurrentes de incendios forestales a lo largo del Distrito, donde se maneja mediante personal contratado en las zonas rurales con un periodo semanal, el uso permitido o restringido del fuego respecto únicamente con las condiciones de temperatura, velocidad del viento, humedad y número de días sin lluvia; pero descartando la salud de la cobertura vegetal, es ahí que se debe sumar a éste semáforo la señal de alertas tempranas en zonas consideradas como alerta roja y amarilla determinado por el tratamiento de los Sistemas de Información Geográfica implementados.

**Foto 12** Semáforo de peligro de propagación de incendios forestales



Diego Montoya, 2015

Se debe constituir una Comisión de Mantenimiento Preventivo, que esté a cargo del cumplimiento del objetivo, metas y acciones cimentadas. Dicha comisión la conformarán los principales actores interinstitucionales de las agencias o entes gubernamentales inherentes al problema de incendios forestales dentro del DMQ.

## 2.1. CONTROL PREVENTIVO

Está direccionado a la aportación de un cambio de comportamiento en las costumbres de la población en cuanto a incendios forestales, sus acciones y consecuencias legales para quien esté ligado directa o indirectamente en un siniestro de estas características; es decir la iniciación de fuegos menores como fogatas, quemas de basura, etc., la incorrecta manipulación de desechos inflamables como vidrios, colillas de cigarrillo o líquidos volátiles; así como también las normas de una correcta quema para agricultura. Se reforzará mediante la construcción de torres de monitoreo del Cuerpo de Bomberos de Quito a lo largo de zonas con mayor reincidencia de incendios forestales.

**Foto 13** Torres de monitoreo del CBQ



Diego Montoya, 2015

## **2.2. PREPARACION Y SENSIBILIZACION**

Orientada a la educación y la toma de conciencia a través de campañas de sensibilización, mingas comunitarias, ejercicios de organización y respuesta ante eventos de esta naturaleza en barrios susceptibles a las zonas de riesgos ante incendios forestales.

### **2.2.1. Objetivo.**

Sensibilizar y capacitar a la población para disminuir el grado de ocurrencia de incendios forestales, analizando las alertas tempranas mediante el análisis de imágenes satelitales por sensores remotos, reduciendo a niveles óptimos de respuesta en el Distrito Metropolitano de Quito.

### **2.2.2. Metas.**

- Concientizar a los actores inherentes de las zonas periurbanas de la importancia de ecológica, social y recreativa que representan para el DMQ.
- Combatir el desconocimiento en el uso de utensilios, objetos o sustancias inflamables dentro del perímetro de las zonas de riesgo en incendios forestales.
- Ilustrar a los actores del desastre ecológico, económico y social que representa un incendio forestal no controlado.
- Recrear mediante simulacros la manera de prevenir de una manera eficiente los riesgos de incendios forestales.

- Identificar claramente mediante los SIG, las temporadas del año y las condiciones climáticas en las que las instituciones involucradas deben desplegar operativos preventivos.
- Procurar que los visitantes, trabajadores y moradores del lugar, cuenten con un pleno conocimiento en cuanto a prevención de incendios forestales.
- Elaborar un índice de alerta temprana quincenal de peligrosidad, definiendo sectores susceptibles a incendios forestales en el DMQ

### **2.2.3. Actividades.**

- Realizar ensayos de cómo utilizar de manera correcta las zonas periurbanas para fogatas y fuegos menores.
- Concientización acerca de la correcta recolección y eliminación de desechos inflamables.
- Educar, ilustrar y asesorar en la quema de bosques de una manera óptima y eficiente en las zonas dedicadas a la agricultura artesanal.
- Aclarar las condiciones meteorológicas más peligrosas para desatar incendios forestales.
- Colocación de señalética informativa de las zonas de alto riesgo.
- Colocación de señalética informativa acerca del manejo de objetos y desechos inflamables.
- Colocar semáforos de propagación de incendios y de estado de la cobertura vegetal, desarrollado por el sistema de alertas tempranas.
- Construir torres de vigilancia con personal para el control preventivo de incendios forestales, en zonas donde las alertas tempranas se considere como alerta roja.

### **2.2.4. Responsables.**

- EPMAPS – Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento
- EPMOP - Empresa Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas
- Instituto Metropolitano de Control
- MTOB – Ministerio de Transporte y obras Públicas
- COE – Centro de Operaciones de Emergencia



- Secretaría de Ambiente
- INAMHI – Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

### **3. PREVENCIÓN DE LOS INCENDIOS FORESTALES**

Muchos de los incendios forestales originados naturalmente, no se pueden evitar; sin embargo los originados por la mano del hombre que constituyen el mayor porcentaje sí se pueden evitar.

Para una óptima prevención de incendios forestales se debe considerar una amplia gama de aspectos concatenados entre sí, relacionados con acciones y medidas que dificulten la propagación y el origen del fuego.

#### **3.1. PREVENCIÓN DEL INICIO**

Se procurará que no se origine el fuego que puede generar un incendio forestal, actuando directamente sobre los agentes de ignición. Para su efecto se tomará en cuenta lo siguiente:

- Investigación de las causas.  
Conocer las causas fidedignas del origen del incendio, colaborará con el plan al proveernos de estrategias de prevención adecuadas para cada caso.
- Concientización y educación.  
La creación de folletos divulgativos y publicidad inherente a la prevención de incendios forestales para medios de comunicación es fundamental para complementar el plan.
- Vigilancia y Observancia.  
En el DMQ, se debe responsabilizar de la vigilancia a las Instituciones encargadas de crear brigadas de vigilancia en épocas propensas y susceptibles a incendios forestales; además de promulgar la formación de grupos civiles destinados a la observancia del cumplimiento de la ley y las normativas que respaldan el plan de prevención.
- Difusión de las normativas y sanciones.

### **3.2. PREVENCIÓN DE LA PROPAGACIÓN**

Al entender que es imposible evitar la totalidad de los incendios, dificultar su propagación una vez originado, debe constituir una parte fundamental del plan de prevención.

Para alcanzar este requerimiento se debe lograr un correcto y eficiente manejo del manto vegetal, visualizándolo como combustible del cual se aprovechará el fuego para propagarse.

Para dicho objetivo es necesario contar con infraestructura necesaria que haga las veces de cortafuegos en caso de que la sofocación del fuego sea necesaria.

Dichas áreas de discontinuidad de vegetación deben ubicarse estratégicamente de acuerdo con las predicciones meteorológicas del viento y de preferencia en las inmediaciones de los focos identificados mediante los sistemas de identificación geográfica.

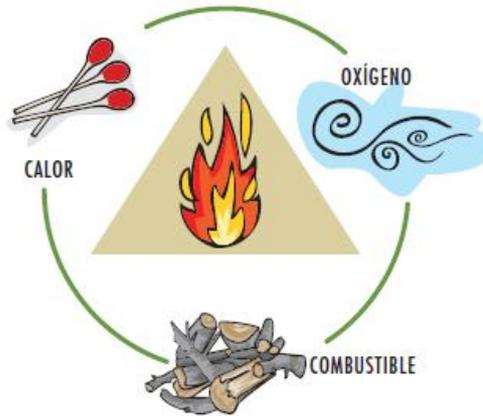
Deben proveerse a la población de la zona con depósitos de extinción dotados de extintores, tomas de agua de fácil acceso para los bomberos, etc.

Distribuir de manera estratégica caminos de fácil acceso que garanticen la llegada del personal de apoyo en caso de posibles incendios forestales.

### **3.3. ORIGEN DE UN INCENDIO FORESTAL**

El fenómeno incandescente representado por el fuego, se origina al sobrepasar los límites de calor aplicado a un cuerpo gracias a la oxidación que produce la exposición al aire. El calor es transmitido rápidamente al cuerpo produciendo combustión que extiende progresivamente la energía suficiente para que este proceso siga adelante y consuma al cuerpo en cuestión.

En el caso de incendios forestales, el cuerpo no es más que la capa vegetal que cubre la zona perjudicada, capa vegetal que se transforma en el combustible natural, siempre y cuando las condiciones de humedad, viento y clima sean propicias para que se desate el siniestro.



### **3.4. PROPAGACIÓN DEL FUEGO**

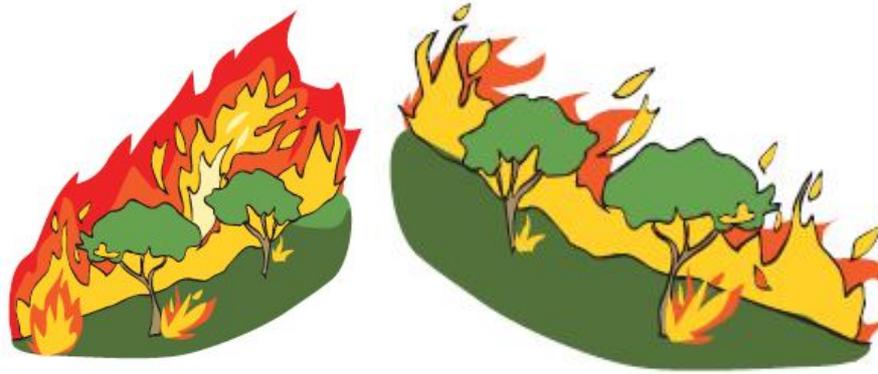
Los factores más influyentes en la propagación de incendios forestales tienen que ver directamente con el tipo de vegetación y su estado de humedad, aparte de la topografía del suelo y los factores climáticos del DMQ, como viento, humedad, presión y temperatura.

#### **3.4.1. Influencia de la Vegetación**

El contenido de humedad en la capa vegetativa del sector es determinante, a la hora de que un conato amenace con convertirse en un incendio forestal, ya que constituye el principal combustible del fuego; y su composición y estructura afectarán de manera positiva o negativa a la propagación del incendio.

#### **3.4.2. Influencia de la Topografía**

La pendiente del terreno influye significativamente, ya que al propagarse el fuego de forma ascendente, encontrará condiciones favorables en terrenos cuya pendiente los extiende cuesta arriba; no así cuando la pendiente extiende al terreno desde el origen del fuego, cuesta abajo; ya que en esas condiciones el fuego se frenará o avanzará de manera más difícil su propagación.



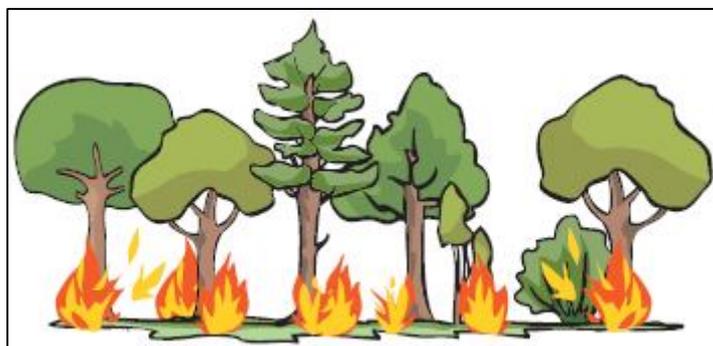
### 3.4.3. Influencia Meteorológica

La dirección y velocidad del viento son relevantes en la propagación del fuego, ya que influye directamente en la velocidad del incendio, siendo así favorable o perjudicial para su desarrollo. Una lluvia torrencial puede beneficiar la mitigación del siniestro, a diferencia de climas extremadamente calurosos y secos, característicos de los veranos en el DMQ.

## 3.5. TIPOS DE INCENDIOS FORESTALES

### 3.5.1. De suelo o de superficie

Constituyen los incendios más comunes, que afectan la vegetación arbustiva como matorral y tapiz herbáceo, sin comprometer directamente a los árboles de tamaños adultos.





### 3.5.2. De copas

Aunque se originan en el suelo, invaden las partes más elevadas de los árboles maduros y altos, propagándose de copa en copa, influidos directamente por los vientos fuertes característicos de esas alturas.



### 3.5.3. De subsuelo

Aunque son muy extraños, tienden a propagarse como brazas a través de la materia orgánica existente bajo el suelo, como raíces, o material tuberculoso, y son los más perjudiciales al afectar directamente los estratos de la capa vegetal, tornándose muy peligrosos al ser difíciles de detectar.

