

# Cartographic Analysis for the Management of Environmental Risk in the Hydrocarbons Sector in the City of Bogotá

Claudia María Cardona L, ePh.D<sup>1</sup>; Miguel Antonio Ávila Angulo, MSc.<sup>2</sup>; John Sebastián Gaitán R, Ing.<sup>3</sup>  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, <sup>1</sup>cmcardonal@udistrital.edu.co;  
<sup>2</sup>maavila@udistrital.edu.co; <sup>3</sup>jsgaitanr@correo.udistrital.edu.co\*

*Abstract -- This paper addresses the adaptation and the significant contributions made to the methodology proposed by the Technical Guide colombiana 104 Environmental Risk Management for developing scenarios of risk and thematic mapping of risk for SMEs in the hydrocarbon sector - Service stations automotive fuel. To present the methodological framework using specialized software in GIS Arc GIS 10.1 ® was considered, establishing the construction of a geotabase that stores the environmental characterization of the study area and specializes in different layers, the joint methodology for risk assessment through various processes with the use of software and finally the layout for the production of thematic mapping.*

*Keywords– Risk zoning, mapping risk analysis, automotive service stations.*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.187>  
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

# Análisis Cartográfico para la Gestión del riesgo Ambiental en el Sector Hidrocarburos en la Ciudad de Bogotá.

Claudia María Cardona L, ePh.D<sup>1</sup>; Miguel Antonio Ávila Angulo, MSc.<sup>2</sup>; John Sebastián Gaitán R, Ing.<sup>3</sup>  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, <sup>1</sup>cmcardonal@udistrital.edu.co;  
<sup>2</sup>maavila@udistrital.edu.co;<sup>3</sup>jsgaitanr@correo.udistrital.edu.co\*

**Resumen**– *El trabajo aborda la adaptación y los aportes significativos realizados a la metodología propuesta por la Guía Técnica Colombiana 104 Gestión del Riesgo ambiental para la elaboración de panoramas de riesgo y cartografía temática de riesgo para las pymes del sector hidrocarburos – Estaciones de servicio de combustible automotriz. Para presentar el marco metodológico se consideró el uso de un software especializado en sistemas de información geográfica ArcGIS 10.1 ®, estableciendo la construcción de un geotabbase que almacene la caracterización ambiental del área de estudio y la especialice en diferentes layers, el empalme de la metodología para la evaluación de riesgo a través de diversos procesos con el uso del software y finalmente la diagramación para la producción de cartografía temática.*

**Lista Palabras Claves**-- *Análisis cartográfico, gestión del riesgo, sector hidrocarburos.*

**Abstract**– *This paper addresses the adaptation and the significant contributions made to the methodology proposed by the Technical Guide colombiana 104 Environmental Risk Management for developing scenarios of risk and thematic mapping of risk for SMEs in the hydrocarbon sector - Service stations automotive fuel. To present the methodological framework using specialized software in GIS Arc GIS 10.1 ® was considered, establishing the construction of a geotabbase that stores the environmental characterization of the study area and specializes in different layers, the joint methodology for risk assessment through various processes with the use of software and finally the layout for the production of thematic mapping.*

**Keywords**-- *Risk zoning, mapping risk analysis, automotive service stations.*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.187>  
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

---

\* Panorama de Riesgo Ambiental para la gestión del funcionamiento en Estaciones de Servicio automotriz en las localidades de Chapinero y Usaquén. Periodo 2010 -2014- Trabajo de grado presentado para obtener el título de Ingeniero Ambiental (con: Yeison Esney Nieto Díaz).

**17<sup>th</sup> LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology:** “Industry, Innovation, And Infrastructure for Sustainable Cities and Communities”, 24-26 July 2019, Jamaica.

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas y la dirección de Hábitat y Ambiente de la Contraloría realizaron a través de un proyecto de trabajo de grado con dos estudiantes de Ingeniería Ambiental, bajo la dirección y codirección de dos profesores de la institución educativa, el “Panorama de Riesgo Ambiental” adaptando la *guía técnica colombiana 104 de gestión del riesgo ambiental* y utilizando la herramienta SIG para la generación de cartografía temática.

Esta comunicación presenta la metodología utilizada en 3 etapas: Etapa I: Identificación del Panorama de Riesgo; Etapa II: Procesos en ARCGIS 10.1; Etapa III evaluación del riesgo usando ARCGIS 10.1

## II. METODOLOGÍA

### *Etapas I Identificación del Panorama de Riesgo:*

#### *1. Construcción del Geodatabase del proyecto:*

Se construyó a través del software ARCGIS 10.1® un Geodatabase basada en la estructura del modelo de datos para estudios ambientales – Planes de Manejo Ambiental - PMA [3], esta geodatabase almacenara la información correspondiente a la línea base del área de estudio delimitado por el área urbana de las Localidades de Chapinero y Usaquén.

#### *2. Adaptación de la guía técnica colombiana 104 Gestión del Riesgo Ambiental:*

Para la PYMES (Pequeñas y Medianas Empresas) de distribución de hidrocarburos – estaciones de servicio automotriz se procedió a establecer un panorama de Riesgo por funcionamiento, para ello se modificó y adapto la etapa de Evaluación del riesgo propuesta por la guía técnica colombiana 104 Gestión del Riesgo ambiental.

#### *3. Determinación de área de Influencia*

En la metodología propuesta por la GTC-104 no se abarca la especialización de los niveles de riesgo producto de las diferentes actividades en el funcionamiento de las estaciones de servicio, en ese sentido se incorporó un área de influencia directa e indirecta tomando como criterio la metodología de la Guía de manejo para estaciones de servicio de Combustibles [4] y el plan de Plan de emergencias para derrames de hidrocarburos provenientes de las estaciones de servicio en las redes de alcantarillado de la zona 2 del acueducto de Bogotá [5].

Se definió que el área de influencia directa fuese un búfer de 80 metros, distancia que corresponder a la longitud de una calle promedio para Colombia, por su parte el área influencia indirecta se estableció en un búfer de 500 metros, esto considerando la posibilidad que un derrame, fuga o escape alcanzara una emergencia mayor y pudiera pasar a fase de un incendio y/o una explosión, sumado a la gran dispersión de los vapores del combustible; además la posibilidad de presentarse

un derrame de gran volumen que pueda infiltrar las líneas de alcantarillado y/o cuerpo de agua sin que las autoridades puedan hacer frente a la contingencia.

El área de influencia directa se consolida como la unidad de análisis en la cuantificación del impacto a los elementos en riesgo, de igual forma como el medio para representar gráficamente el nivel de riesgo asociado a cada escenario.

#### *4. Análisis e identificación de Riesgos*

Esta etapa propuesta por la GTC 104 no tuvo ninguna modificación, el análisis e identificación de riesgo se realizó basado Guía de manejo para estaciones de servicio de Combustibles [4] definiéndose 5 escenarios de riesgo asociado al funcionamiento de EDS:

- Riesgo de derrames, fugas o escapes en el sistema de almacenamiento y Distribución de Combustibles.
- Riesgo de derrames durante las operaciones de llenado de los tanques y distribución de combustible.
- Falla de equipos eléctricos en islas de distribución y zonas de almacenamiento de combustibles.
- Fuga de combustible durante el cambio de llantas, cambio de aceite o mantenimiento del vehículo.
- Inadecuada disposición de residuos peligrosos.

#### *5. Evaluación del Riesgo*

La determinación del nivel de riesgo en esta etapa está dada por la ponderación entre posibilidad y las consecuencias asociadas a cada escenario de riesgo. La posibilidad es resultado de computar el nivel de control de cada escenario establecido y la probabilidad de que se presente un evento de riesgo determinado en parte por su frecuencia.

Las consecuencias están determinadas por el entorno de cada EDS, la sumatoria de los elementos bióticos, abióticos, socioeconómicos, y culturales que podrían ser afectados determinan el grado de gravedad que supondría la materialización de alguno de los escenarios de riesgo identificados previamente

#### *6. Determinación de la Posibilidad*

Para determinar la posibilidad de cada escenario de riesgo se hizo uso tanto de la frecuencia de ocurrencia del impacto como del cumplimiento normativo ambiental el cual refleja el nivel de control o de barreras para cada estación de servicio, los controles juegan un papel fundamental a la hora de evitar reducir o aumentar la posibilidad de que se presenten impactos ambientales.

Se definió una frecuencia general a partir del estudio de los antecedentes registrado en los expedientes de 28 Estaciones

de servicio en la Localidad de Chapinero y Usaquén. Se definieron unas series de barreras de control para cada escenario de riesgo, estas barreras son el conjunto de acciones preventivas, infraestructura, y medidas establecidas dentro de la normatividad exigida por la Secretaria Distrital de ambiente a las estaciones de servicio.

Definidas las barreras de control, se definió unos rangos de cumplimiento expresados en % para da escenario de riesgo. La ponderación entre frecuencia y porcentaje de control da como resultado la posibilidad de que se presente determinado impacto ambiental.

### 7. Determinación de las Consecuencias

En este punto es necesario cuantificar los elementos en riesgo en el contexto de cada estación de servicio, este proceso se desarrolla con ayuda del Sistema de información geográfica. Cada elemento de riesgo se le asignara una puntuación acorde a la cantidad y cercanía de elementos a la estación de servicio y a su vez se calificará los potenciales impactos de cada escenario de riesgo.

Es preciso aclarar, que la determinación de las consecuencias en la etapa de Evaluación del riesgo propuesta por la GTC 104 ha sido modificada sustancialmente, una vez analizado la metodología y el peso en la ponderación para hallar el nivel de riesgo, se concluyó que el análisis de las consecuencias es producto de una calificación netamente cualitativa , por lo que se adicione una calificación cuantitativa en donde se califican los elementos en riesgo presentes en el área de influencia indirecta para cada estación; esta modificación se explica en la siguiente actividad y más adelante en la ponderación de la fórmula para hallar el nivel de riesgo por escenario asociado a cada estaciones de servicio.

### 8. Cuantificación de Elementos en Riesgo.

Los elementos en riesgo se agruparon en 5 categorías propuestas por la GTC 104, cada categoría presenta diferentes criterios a calificar. En las tablas 8 - 12 se propone una puntuación acorde a la cuantificación de estos criterios dentro del área de influencia indirecta para cada categoría ambiental, proporcionándole un valor ponderado por criterio y un valor ponderado por categoría.

A través del Sistema de información geográfica se cuantifico cada uno de los criterios de las diferentes categorías ambientales, definiendo un máximo y un mínimo de elementos presentes para cada criterio con el objetivo de generar un rango de calificación.

Cabe aclarar que los rangos propuestos a continuación corresponden a la cuantificación de elementos en riesgo del en

las localidades de Chapinero y Usaquén, por tanto la escala de calificación aplica solo a las estaciones objeto de estudio, en este orden de ideas y con el objetivo de tener una estandarización de la escala de cuantificación de elementos en riesgo, se recomienda obtener los rangos a partir de la cuantificación total de elementos presentes en la jurisdicción de la Secretaria Distrital de Ambiente.

Esta categoría evalúa los elementos en riesgo relacionados al impacto social y ambiental, cuantificando los edificios caracterizados por una alta afluencia de personas, estos edificios albergan una población flotante que responde a las dinámicas de movilización de la ciudad caracterizado principalmente por movilizaciones a centros educativos, edificios religiosos o de culto, y actividades turísticas.

Esta categoría cuantifica el número aproximado de habitantes en el área de influencia, además de la afectación a centros de salud que se traduce en la capacidad de respuesta una vez presentado un escenario de riesgo.

Las variables relacionadas directamente con la estructura ecológica del Distrito presentes en cada área de estudio, la categoría de ecosistemas terrestres evalúa las áreas que presentan coberturas vegetales representadas por los parques declarados por el IDRD y otras coberturas apreciables en fotografías satelitales no declaradas como parques y que están caracterizadas por la presencia de cobertura de fustales, latizales y arbustos. Por su parte la categoría de ecosistemas acuáticos evalúa la presencia de cuerpos de agua loticos y lenticos y el recurso hidrogeológico expresado en pozos de agua subterránea.

Por último, se evalúa la categoría relacionada con el Patrimonio Cultural, en esta se cuantifica la presencia de monumentos, esculturas, plazoletas y otras estructuras con importancia cultural que se puedan ver afectadas.

La sumatoria de los criterios para cada categoría de elementos en riesgo tiene un valor según la categoría. Tabla 1.

TABLA 1  
CRITERIOS PARA CADA CATEGORÍA

Criterios para cada categoría	Valor >	entre	Valor ≤
Ambiente y sociales generales	16 (5)	9 – 16 (3)	8 (1)
Salud Humana	10 (5)	6 -10 (3)	5 (1)
Ecosistemas Terrestres	6 (5)	4 - 6 (3)	3 (1)
Ecosistema Acuático	6 (5)	4 – 6 (3)	3 (1)
Patrimonio Cultural	4 (5)	2 – 3 (3)	1 (1)

### 9. Determinación de la Gravedad

La GTC 104 propone una evaluación del impacto potencial de cada escenario de riesgo sobre 5 categorías



*Consecuencia por escenario de Riesgo = CER*  
 $CER = GcA1 + GcA2 + GcA3 + GcA4 + GcA5$

Dónde:

- GcA1 = Gravedad Categoría Ambientales y sociales General
- GcA2 = Gravedad Categoría Salud Humana
- GcA3 = Gravedad Categoría Ecosistemas terrestres
- GcA4 = Gravedad Categoría Ecosistemas Acuáticos
- GcA5 = Gravedad Categoría Patrimonio Cultural

La sumatoria de los niveles de gravedad en cada categoría ambiental determinara el nivel de consecuencias y se clasifica de acuerdo a la tabla 16, los valores asignados corresponden a lo usados por la GTC 104, acoplándose nuevamente a la metodología establecida por esta guía, tabla 3.

TABLA 3  
 CLASIFICACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS

Nivel	Descriptor	Valor
1	Catastrófico	41-50
2	Importante	31-40
3	Moderado	21-30
4	Secundario	11-20
5	insignificante	0-10

NOTA. FUENTE: INCONTEC [6]

#### 10. Nivel de Riesgo

En base a la combinación de estimaciones cuantitativas de las consecuencias y la posibilidad se produce la medición del nivel de riesgo acorde a la tabla 4.

TABLA 4  
 MATRIZ PARA EL ANÁLISIS CUALITATIVO DEL RIESGO: NIVEL DE RIESGO

Posibilidad	Consecuencia				
	Catastrófica	Importante	Moderada	Secundario	Insignificante
Casi Seguro	E	E	E	A	A
Probable	E	E	A	A	M
Posible	E	E	A	M	M
Improbable	E	A	M	B	B
Raro	A	A	M	B	B

FUENTE: INCONTEC [6]

CONVENCIONES:

- E= RIESGO EXTREMO, EXIGE ACCIÓN INMEDIATA.
- A= RIESGO ALTO, ES NECESARIA LA ATENCIÓN.
- M= RIESGO MODERADO, SE DEBE ESPECIFICAR AL RESPONSABILIDAD
- B= RIESGO BAJO, GESTIONADO MEDIANTE PROCEDIMIENTOS DE RUTINA

### III. PROCESOS EN ARCGIS 10.1

#### 11. Ubicación de las Estaciones de Servicio

Se contó con una base de datos proporcionada por la subdirección del recurso hídrico y del suelo de la Secretaría Distrital de Ambiente que contenía el total de estaciones de servicio de combustible para la ciudad de Bogotá conjunto a dirección, nombre y número de expediente, con esta información se procedió a ubicar las estaciones de servicio con ayuda del software GOOGLE EARTH donde se creó un layer en formato KML con la ubicación de las EDS en las localidades objeto de estudio que posteriormente fue exportado al software ArcGIS 10.1® y exportado como [feature class <<Estaciones de servicio>> al geodatabase] DATA SET.

#### 12. Georreferenciación, Digitalización y alimentación del Geodatabase

La cartografía obtenida del Sistema de Modelamiento hidrogeológico del Distrito Capital 2013 en formato PDF se carga al programa con la opción Add Data y se procede a geo referencia con la herramienta georeferencing ubicando en cada esquina de la grilla de cada cartografía y asignándole un valor en metros seguidamente se autoajusta la imagen y se opera Rectify para generar la nueva imagen que posteriormente se geo referenciara con el sistema de proyección de coordenadas MAGNA\_Colombia\_Bogota.

Una vez georreferenciada la cartografía, se carga los feature class del geotabbase del proyecto y se procede a digitalizar con la opción Editing/StartEditing la información gráfica representada para cada uno de ellos. De igual forma se cargan los shapefiles descargados del servidor ARCGIS online y de la base de datos del IDECA, se seleccionan las entidades con los atributos deseados y se copian en cada feature class según su característica.

### IV. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO A TRAVÉS DE ARCGIS

#### 13. Área de influencia Determinación de Consecuencias y Posibilidad.

Una vez alimentado el geodatabase este es cargado y se procede a generar el área de influencia indirecta para cada estación de servicio con ayuda de la herramienta Buffer y se guarda en el featureclass AIID del DATA SET Riesgo y Amenaza.

Con ayuda de la herramienta Select layer by location se procede a identificar y cuantificar los diferentes elementos en riesgo para cada categoría ambiental que se encuentren dentro del área de influencia, para dicho proceso es necesario el featureclass <<AIID>> y los diferentes featureclass que se presentan en la tabla 5.

TABLA 5

RELACION DE FEATURE CLASS Y ELEMENTOS EN RIESGO  
POR CATEGORÍA AMBIENTAL

Categoría	Feature class
Ambiental	
Ambientales y sociales generales	<<Centros_Religiosos>> <<Predios_comerciales >> <<Centros_Culturales>> <<Hoteles>> <<Instituciones Educativas>>
Salud Humana	<<Centro de Salud>> <<Densidad Poblacional>> <<Lote>>
Ecosistemas Terrestres	<<Ecosistema>> <<Parques_IDRD>>
Ecosistemas Acuático	<<Dren>> <<Cagua>>
Patrimonio Cultural	<<Monumentos>>

NOTA. FUENTE: AUTOR, 2016.

El cálculo de las consecuencias se hace a través del feature class <<Consecuencias>> donde se introduce la información de Impacto potencial y la cuantificación de elementos en riesgo por categoría ambiental, la tabla de atributos para este feature estará organizada como se aprecia en la tabla 6.

TABLA 6  
ESTRUCTURA DE LA TABLA DE ATRIBUTOS DEL FEATURE CLASS <<CONSECUENCIAS>>

Field	Descripción
EDS	Número de expediente de cada EDS
R1_Ambient	Impacto potencial del escenario "Riesgo de derrames, fugas o escapes en el sistema de almacenamiento y Distribución de Combustibles" para las 5 categoría ambiental.
R1_Salud H	
R1_Ecosist	
R1_Escosa	
R1_Patrimo	
R2_Ambient	Impacto potencial del escenario "Riesgo de derrames durante las operaciones de llenado de los tanques y distribución de combustible" para las 5 categoría ambiental.
R2_Salud H	
R2_Ecosist	
R2_Escosa	
R2_Patrimo	
R3_Ambient	Impacto potencial del escenario "Falla de equipos eléctricos en islas de distribución y zonas de almacenamiento de combustibles" para las 5 categoría ambiental.
R3_Salud H	
R3_Ecosist	
R3_Escosa	
R3_Patrimo	
R4_Ambient	Impacto potencial del escenario "Riesgo de derrames, fugas o escapes en el sistema de almacenamiento y Distribución de Combustibles" para las 5 categoría ambiental.
R4_Salud H	
R4_Ecosist	
R4_Escosa	
R5_Ambient	
R5_Salud H	Impacto potencial del escenario "Inadecuada disposición de residuos peligrosos" para las 5 categoría ambiental.
R5_Ecosist	
R5_Escosa	
R5_Patrimo	
Valor_Ambie	
Valor_Salud	Valor de la cuantificación de los elementos en riesgo por categoría ambiental de acuerdo a la tabla 13.
Valor_Ecos	
Valor_Ecosa	
Valor_Patrimo	
Consecuen_1	
Consecuen_2	Calculo de la consecuencia para cada escenario de riesgo.
Consecuen_4	
Consecuen_5	
Consecuen_5	
Consecuen_5	

NOTA. FUENTE: AUTOR, 2016.

En este punto se debe dar click derecho en cada field de consecuencia y seleccionar la opción Field Calculator y aplicar la siguiente formular que integra el cálculo de la gravedad y el de la consecuencia en una sola ecuación:

$$ConsecuenX: (Rx_Ambien + Valor_Ambien) + (Rx_Salud_H + Valor_Salud) + (Rx_Ecosist + Valor_Ecos) + (Rx_Ecosa + Valor_Ecosa) + (Rx_Patrimo + Valor_Patrimo)$$

En donde cada paréntesis corresponde a la gravedad ambiental por categoría ambiental.

Una vez calificada las consecuencias el siguiente paso es calificar la posibilidad, en dicho proceso se revisaron 28 expedientes de estaciones de servicio a través de listas de cheque normativo, que posteriormente se agregaron a una base de datos y se obtuvo el % de cumplimiento para Barreras de control acorde a la Tabla 5, este cálculo se computo con el dato frecuencia hallando así la posibilidad de suceso para cada escenarios de riesgo para las 28 estaciones de servicio, dicha información alimentara el featre class << Posibilidad>>.

#### 14. Nivel de Riesgo

El feature class <<Nivel Riesgo>> posee en su tabla de atributos 15 fields, 5 para el valor de la consecuencia, 5 para el valor de la posibilidad y los 5 restantes para el nivel de riesgo de los diferentes escenarios, en este layer deben consignarse la información de los layer <<Posibilidad>> y <<Consecuencia>> y calificar los últimos 5 campos según la tabla 16. Una vez calificados el riesgo para cada escenario se procede a separar este feature class en 5 layer individuales correspondientes a cada escenario y así facilitar el proceso de producción cartográfica.

El featurer class <<Consecuencias>> integra la evaluación del riesgo y lo especializa en las áreas de influencia indirecta de cada estación constituyéndose en una zonificación del riesgo en las localidades de Chapinero y Usaquén.

### 15. Nivel del Riesgo en intersecciones de área de influencia

Teniendo en cuenta la cercanía de una o más estaciones de servicio, sus áreas de influencia indirecta se intersectan, dichas áreas de intersección poseen un mayor riesgo al verse afectada por los impactos producidos, ya sea que ocurra en una estación o en la otra por lo que deben reclasificarse el nivel del riesgo según la tabla 7.

TABLA 7  
NIVEL DE RIESGO EN INTERSECCIONES

Nivel de riesgo	Extremo	Alto	Moderado	Bajo
Extremo	Extremo	Extremo	Extremo	Extremo
Alto	Extremo	Extremo	Alto	Alto
Moderado	Extremo	Alto	Alto	Moderado
Bajo	Extremo	Alto	Moderado	Moderado

NOTA. FUENTE: AUTOR, 2016.

Para las intersecciones de más de dos áreas, se procederá hacer la clasificación de la primera intersección, esta nueva clasificación se intersectara con la tercera área, definiendo así la clasificación de nivel de riesgo de la intersección, este proceso debe repetirse según el número de área intersectadas.

Una vez clasificadas todas las áreas y sus intersecciones se elabora la cartografía temática por escenario de riesgo.

## V. GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA

### 16. Zonificación de Riesgo por escenario

Finalizado la etapa de evaluación del riesgo se procede a agregar los features class conforme a la tabla 8, y asignarles desde Symbol Selector características de color, borde y relleno a cada layer así mismo y en los casos necesarios se agregarán Labels a ciertos feature class.

TABLA 8  
LAYER PRESENTES EN LA CARTOGRAFÍA DEL RIESGO

Data SET	Tema	Feature Class
Base	Base	<<Área Estudio>>
		<<Dren>>
		<<Cagua>>
		<<C_nivel25>>
		<<Vias_P>>
Socioeconómico	Territorial Económico	<<EstacionesdeServicio>>
		<<Localidad>>
		<<Malla_vial>>
Riesgo y Amenaza	Riesgo y Amenaza	<<Riesgo1>>
		<<Riesgo2>>
		<<Riesgo3>>
		<<Riesgo4>>
		<<Riesgo5>>

NOTA. FUENTE: AUTOR, 2016.

Se prosigue adicionado y según la cartografía por escenario de riesgo el feature class respectivo, asignándole desde Layer properties > Symbology> unique values un color acorde al nivel del riesgo, siendo Rojo para el nivel Extremo, amarillo para un nivel Alto, verde para Moderado y finalmente azul para el nivel Bajo.

La diagramación de la cartografía se hace con las diferentes herramientas ubicadas en la barra de herramienta general en la pestaña View una vez seleccionada la opción Layout View, en el desplegable de esta pestaña es posible configurar la grilla, escala, norte, leyenda, convenciones y el rotulo, finalmente la configuración de impresión se realiza desde la pestaña File > Page and Print Setup.

Para finalizar se guarda una plantilla del en formato. mxd y se exporta el archivo a un formato .pdf con una resolución por encima de 300 dpi.

### 17. Análisis de Áreas de influencia versus áreas de vulnerabilidad GOD

Se desarrolló un último mapa con el objetivo de analizar las áreas de influencia de las estaciones de servicio con sus respectivos niveles de riesgo por escenario y las áreas de vulnerabilidad de contaminación de acuíferos – GOD, en este sentido es posible visibilizar las estaciones de servicio con mayor riesgo y su ubicación sobre áreas con alta susceptibilidad de contaminación de acuíferos. Para la generación de dicha cartografía se utilizó los layer de la tabla 20 y adicionalmente el feature class <<Vul\_GOD>> correspondiente a al mapa de vulnerabilidad GOD.

## VI. RESULTADOS

Se elaboró un total de 13 mapas, 7 relacionados con la línea base del área de estudio, 5 mapas sobre nivel de riesgo

para cada escenario de riesgo y uno correspondiente a la superposición de área de influencia de estaciones de servicios con área de vulnerabilidad GOD. En esta comunicación se presentan 2 mapas representativos del proceso cartográfico.

Un punto de partida para el análisis cartográfico del riesgo es la ubicación de las estaciones de servicio de combustible sobre áreas indirectas con vulnerabilidad GOD, cabe recordar que el mapa de Vulnerabilidad GOD corresponde a una metodología para clasificar la vulnerabilidad de un acuífero partiendo de tres variables, el tipo de acuífero, característica geológica de la capa confinante y finalmente el espesor de la capa confinante; bajo estos parámetros la metodología GOD la metodología GOD desarrolla un rango de 0 a 1, donde 0 es una nula posibilidad de contaminación del acuífero y 1 extrema posibilidad de Contaminación.

De las 28 estaciones de servicio de las localidades de Chapinero y Usaquén, cerca del 42% se localizan en zonas de clasificación de Alta (0.5 – 0.7) para la metodología GOD y el restante porcentaje en una clasificación Moderada. Las zonas de clasificación Alta para el área de estudio corresponden a largos parches ubicados en el borde oriental del área de estudio, que a su vez se configura como el borde de los cerros orientales, esta franja tiene como característica la presencia diversos factores hidrogeológicos que la configuran como en una zona de recarga y le posicionan en una alta clasificación de vulnerabilidad GOD.

En el caso puntual del escenario Por derrames, fugas o escapes en el sistema de almacenamiento y distribución y como se muestra en la tabla 9 se encontró que la localidad de Chapinero presenta un mayor riesgo comparado con la localidad de Usaquén, esto se debe principalmente a dos factores, el primero una alta concentración de estaciones de servicio donde su áreas de influencia tienden a intersectarse y segundo una alta concentración de elementos en riesgo donde sobre salen los relacionados con la Ambientales y Sociales generales dado por el alto número de servicios de salud, culturales, de turismo, entre otros ofrecidos en la localidad.

TABLA 9  
LAYER PRESENTES EN LA CARTOGRAFÍA DEL RIESGO

Nivel de Riesgo	No. Estaciones	%	No. de EDS por Localidad	
			Chapinero	Usaquén
Extremo	2	7,14	2	
Alto	3	10,7	2	1
Moderado	19	67,8	5	14
Bajo	4	14,2	2	2
Total	28	100	11	17

NOTA. FUENTE: AUTOR, 2016.

También se evaluó el área ocupada por las áreas de influencia con sus respectivos su nivel de riesgo como se presenta en la tabla 10, observándose un mayor porcentaje de

área en niveles de riesgo extremo y alto comparado con el análisis de la tabla 9, esto se debe a la intersección de áreas de influencia dado por la cercanía de EDS.

TABLA 10  
ÁREAS DE INFLUENCIA Y % EN NIVELES DE RIESGO PARA EL ESCENARIO POR DERRAMES, FUGAS O ESCAPES EN EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN.

Nivel de Riesgo	Área Ha	% de Área
Extremo	191,0	10,4
Alto	379,02	20,7
Moderado	996,33	54,6
Bajo	256,25	14,0
Total	1822,65	100

NOTA. FUENTE: AUTOR, 2016.

Finalmente se evaluó el número de estaciones de servicios ubicadas sobre áreas con clasificación Alta de vulnerabilidad GOD, donde encontraron 12 estaciones con 6 áreas de intersección en áreas como se muestra en la tabla 11.

TABLA 11  
ESTACIONES DE SERVICIOS UBICADAS EN ÁREAS CON CLASIFICACIÓN ALTA Y MODERADA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Clasificación de Vulnerabilidad GOD	Estaciones de Servicio - Nivel de Riesgo			
	Extremo	Alto	Moderado	Bajo
Alto	1	2	8	1
Clasificación de Vulnerabilidad GOD	Áreas de Intersección - Nivel de Riesgo			
	Extremo	Alto	Moderado	Bajo
Alto	2	4	-	-

NOTA. FUENTE: AUTOR, 2016.

## VII. DISCUSIÓN

Los rangos propuestos en la fase de cuantificación de elementos en Riesgo corresponden a la cuantificación del área de estudio, por tanto la escala de calificación aplica solo a las estaciones objeto de estudio, en este sentido se recomienda realizar una cuantificación total de elementos en riesgo en la jurisdicción de la Secretaria Distrital de Ambiente para la ciudad de Bogotá con el objetivo de replicar la metodología propuesta en el área urbana de la ciudad de Bogotá.

En el presente trabajo el peso ponderado para hallar el nivel de gravedad por cada categoría ambiental es el mismo, y a su vez el peso de los criterios por categoría, otorgándole la misma importancia a cada categoría y criterio dentro de cada categoría, esto podría ser modificado en una eventual réplica de la metodología según las condiciones del área de estudio y los lineamientos de investigación.

## VIII. CONCLUSIONES

En el proceso de elaboración del PANORAMA DE RIESGO BASADO EN LA GTC 104 DEL 2009 GESTIÓN DEL RIESGO es necesario la adaptación de la metodología para cada industria, actividad y contexto específico, en nuestro caso la guía fue adoptada para la generación de panorama de riesgos asociados al funcionamiento de estaciones de servicio, en ese proceso, el primer aporte está basado en la inclusión del cumplimiento normativo para la determinación de la posibilidad, en cuanto se generó niveles diferentes de cumplimiento ambiental para hallar el nivel de control asociado a cada escenario de riesgo; en segundo lugar, la modificación en el proceso de determinación de las consecuencias, en este sentido, se agregó una nueva variable cuantitativa denominada cuantificación de elementos en riesgo, donde se propusieron áreas de influencia con el objetivo de cuantificar dichos elementos y posteriormente especializar el riesgo, adicionalmente se generaron rangos de riesgo que fueron evaluados a través de un sistema de información geográfico basado en un modelo de geodatabase propuestos por nosotros que contiene toda la información recolectada en la descripción ambiental del área de estudio.

Con la adaptación realizada a la metodología GTC 104 del 2009 Gestión del Riesgo Ambiental fue posible especializar el riesgo asociado al funcionamiento de las estaciones de servicio permitiendo la producción de cartografía temática del riesgo que se consolida como una potencial herramienta de planificación y gestión en cuanto a la ubicación y reubicación de actividades industriales y comerciales en áreas con sensibilidad ambiental.

En este sentido la cartografía temática elaborada se convierte en una herramienta de planificación para la Secretaría de Ambiente, en la planificación de ordenamiento territorial distrital y a la elaboración de planes de contingencia enmarcados en la ley 1523/12 por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones, debido a que se puede priorizar la intervención sobre estaciones con un alto nivel de Riesgo y a su vez a la Contraloría de Bogotá como un indicador de las amenazas de contaminación a los recursos naturales, en especial al recurso hidrogeológico.

A partir del análisis cartográfico del riesgo realizado a las 28 estaciones de servicio de las localidades de Chapinero y Usaquén, se concluyó que el riesgo de contaminación hidrogeológica por filtraciones de hidrocarburos se posiciona como uno de los impactos ambientales más graves, debido a que el 42% de la muestra se localiza en zonas con clasificación alta de vulnerabilidad GOD que corresponden al borde de los cerros orientales, principal zona de recarga de acuíferos.

Finalmente, y con respecto a los resultados, la clasificación del riesgo de los distintos escenarios puede disponer una mayor

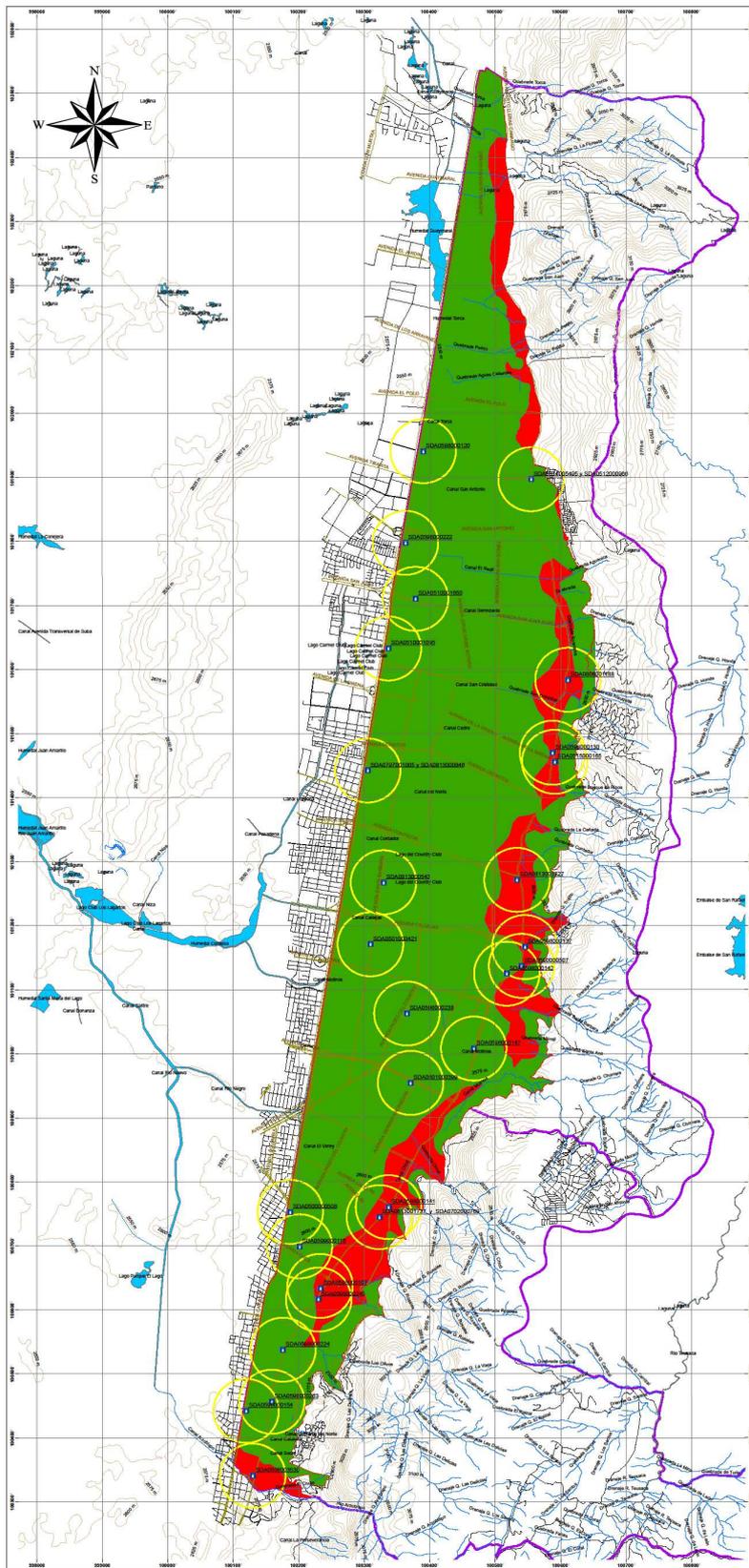
probabilidad de contaminación de los acuíferos en las estaciones que se ubican sobre zonas con clasificación alta de vulnerabilidad GOD, amenazando la calidad y cantidad del recurso hidrogeológico del Distrito. Por lo anterior dichas estaciones de servicio deben ser objetivo de priorización para la Secretaría Distrital de Ambiente y para la Contraloría de Bogotá.

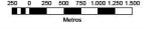
#### REFERENCIAS

- [1] Aranda, R. M. (2013). Detección y evaluación de la contaminación del suelo por tanques enterrados de almacenamiento de hidrocarburos en estaciones de servicio. Cartagena, España: Universidad Politécnica de Cartagena.
- [2] Contraloría de Bogotá. (2011). Informe final auditoría abreviada "evaluar descontaminación. Bogotá.
- [3] ANLA. (2012). Modelo de datos geodatabase para EIA, PMA, DAA, Abril 12.
- [4] DAMA. (1999). Guía de manejo ambiental para estaciones de servicio de Combustible. Guía de manejo ambiental para estaciones de servicio de Combustible.
- [5] Sosa, P. A. (2006). Plan de emergencias para derrames de hidrocarburos provenientes de las estaciones de servicio en las redes de alcantarillado de la zona 2 del acueducto de Bogotá. Bogotá DC: Universidad de la Salle.
- [6] INCONTEC. (2009). GTC 104 Gestión del Riesgo Ambiental.
- [7] Secretaría Distrital de Ambiente, Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo. (2013). Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá. Bogotá D.C.



 	
<p><b>CONTRALORÍA DE BOGOTÁ, D.C.</b>          COM. INALIANALDE: BOGOTÁ, SUBDIRECCIÓN DE HABITAT Y AMBIENTE</p> <p><b>UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS</b>          FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES          INGENIERÍA AMBIENTAL</p>	
<p><b>PROYECTO</b>          PANORAMA DE RIESGO AMBIENTAL PARA LA GESTIÓN DEL FUNCIONAMIENTO EN ESTACIONES DE SERVICIO AUTOMOTRIZ EN LAS LOCALIDADES DE CHAPINERO Y USÁQUEN, PERIODO 2014-2014</p>	
<p><b>TÍTULO</b>          RIESGO DE DERRAMES, FUGAS O ESCOPES EN EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES</p>	<p><b>MAPA / PLANO</b>          07/11</p>
<p><b>LOCALIZACIÓN GENERAL, RESPECTO AL ÁREA URBANA DE BOGOTÁ D.C.</b></p> 	
<p><b>ESCALA:</b> 1:25,000</p> 	<p><b>PARÁMETROS CARTOGRÁFICOS</b>          Coordinate System: MANSANA Colombia Bogotá          Proyección: Transverse Mercator          Datum: MANSANA          False Easting: 1 000 000 000          False Northing: 1 000 000 000          Spheroid: Merisier - 1912/74          Scale Factor: 1,0000          Latitude Of Origin: 4,5662          Units: Meter</p>
<p><b>CONVENCIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Área de Estudio</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid blue; display: inline-block; width: 15px; margin-right: 5px;"></span> Drenaje</li> <li><span style="background-color: lightblue; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Cuepos de Agua</li> <li><span style="border: 1px solid purple; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Limite de Localidad</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid orange; display: inline-block; width: 15px; margin-right: 5px;"></span> Vías Principales</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid grey; display: inline-block; width: 15px; margin-right: 5px;"></span> Malla vial</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid blue; margin-right: 5px;"></span> Estaciones de Servicio</li> </ul> <p><b>Nivel de Riesgo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="background-color: red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Extremo</li> <li><span style="background-color: orange; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Alto</li> <li><span style="background-color: green; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Moderado</li> <li><span style="background-color: lightblue; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Bajo</li> </ul>	
<p><b>BOGOTÁ DISTRITO CAPITAL - 2015</b></p> <p><b>PLANOS DE REFERENCIA</b>          Proyecto urbano 2013          Sistema vial 2013 - Subistema vial - 2013          Secretaría Distrital de Planeación</p> <p><b>FUENTES</b>          Localidades - UPZ - UPR - Eamos SDP - <a href="https://sites.google.com/site/senecolshaps">https://sites.google.com/site/senecolshaps</a>          Revisado 14/05/15</p> <p>Curvas de nivel - Proceso digital a través de Cobat (tapper - asir goem)</p>	
<p><b>E. ABORO</b>          YEISON ESENY NIETO DÍAS          CÓDIGO 20092180002</p> <p>JOHN SEBASTIAN GATIAN REY          CÓDIGO 201101180021</p>	<p><b>REVISÓ</b>          CLAUDIA MARÍA CARDONA LONDOÑO          DIRECTORA INTERNA</p> <p>LIBIA ESPERANZA CUERVO PÁEZ          DIRECTORA EXTERNA</p>



 	
<p><b>CONTRALORÍA DE BOGOTÁ</b> SUBDIRECCIÓN DE HÁBITAT Y AMBIENTE</p> <p><b>UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS</b> Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales Ingeniería Ambiental</p>	
<p><b>PROYECTO</b> PANORAMA DE RIESGO AMBIENTAL PARA LA GESTIÓN DEL FUNCIONAMIENTO EN ESTACIONES DE SERVICIO AUTOMOTRIZ EN LAS LOCALIDADES DE CHAPINERO Y USAQUÉN, PERIODO 2010 -2014</p>	
<p>TÍTULO Áreas de influencia en niveles de Vulnerabilidad GOD</p>	<p>MAPA / PLANO 12/12</p>
<p>LOCALIZACIÓN GENERAL RESPECTO AL ÁREA URBANA DE BOGOTÁ D.C.</p>	
	
<p>ESCALA: 1:25,000</p> 	
<p><b>PARÁMETROS CARTOGRÁFICOS</b>          Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota          Projection: Transversa Mercator          Datum: MAGNA          False Easting: 1 000 000,0000          False Northing: 1 000 000,0000          Central Meridian: -74,0775          Scale Factor: 1,0000          Latitude Of Origin: 4,5962          Units: Meter</p>	
<p><b>CONVENCIONES</b></p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Área de Estudio</li> <li><span style="color: blue; font-weight: bold;">—</span> Drenaje</li> <li><span style="border: 2px solid yellow; border-radius: 50%; width: 15px; height: 15px; display: inline-block; margin-right: 5px;"></span> &lt;all other values&gt;</li> <li><span style="background-color: lightblue; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Cuerpos de Agua</li> <li><span style="border: 2px solid purple; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Limite de Localidad</li> <li><span style="border-bottom: 2px solid green; width: 15px; margin-right: 5px;"></span> Vías Principales</li> </ul> <p><b>clase</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="background-color: red; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Alta</li> <li><span style="background-color: green; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Media</li> <li><span style="border-bottom: 1px solid black; width: 15px; margin-right: 5px;"></span> Malla vial</li> <li><span style="color: blue; font-weight: bold;">■</span> Estaciones de Servicio</li> </ul>	
<p><b>BOGOTÁ DISTRITO CAPITAL - 2015</b></p>	
<p><b>PLANOS DE REFERENCIA</b>          Perímetro urbano 2013          Sistema Hídrico 2013          Sistema de Movilidad - Subistema vial - 2013          Secretaría Distrital de Planeación.</p>	
<p><b>FUENTES</b>          Localidades - UPZ - UPR - Barrios SDP - <a href="https://sites.google.com/site/resiscol/shapes">https://sites.google.com/site/resiscol/shapes</a>          Revisado: 14/09/15</p>	
<p>Curvas de nivel - Proceso digital a través de Global Mapper -aster gdem</p>	
<p><b>ELABORÓ</b></p> <p>YEISON ESNEY NIETO DÍAS CÓDIGO 20052160052 JOHN SEBASTIAN GAITAN REY CÓDIGO 20101160021</p>	<p><b>REVISÓ</b></p> <p>CLAUDIA MARÍA CARDONA LONDOÑO DIRECTORA INTERNA LIBIA ESPERANZA CUERVO PÁEZ DIRECTORA EXTERNA</p>